


## Comparación y evolución de la evaporación de tanque y evapotranspiración de referencia en la región semiárida pampeana central

Bazán Azargado, Ramiro<sup>1,@</sup>, Vergara, Graciela<sup>1</sup>, Casagrande, Guillermo<sup>1</sup>, Méndez, Mariano Javier<sup>1,2</sup> 

1 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía  
2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.  
@ bazanramiro@agro.unlpam.edu.ar

Recibido: 29/11/2023  
Aceptado: 28/12/2023

**RESUMEN.** El objetivo del presente trabajo es estudiar los cambios en la demanda de agua de la atmósfera en la región semiárida pampeana central en los últimos 30 años a través de la evaporación y la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). La información para alcanzar el objetivo se obtuvo de la estación agrometeorológica de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, ubicada en Santa Rosa, La Pampa. La evaporación fue mediada con un tanque americano tipo A (E-T) y la ET<sub>o</sub> estimada con la ecuación de Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>-PM) para el período 1988-2019. Los resultados mostraron que la E-T anual osciló entre 1850,0 y 2940,0 mm, mientras que la ET<sub>o</sub>-PM anual varió de 1130,0 a 1620,0 mm. La E-T anual promedio fue de 2332,7 mm ± 320,8 mm, y la ET<sub>o</sub>-PM anual promedio fue de 1346,4 mm ± 145,8 mm. A pesar de las diferencias en los valores absolutos la E-T y ET<sub>o</sub>-PM se encontraron asociadas de manera directa ( $p < 0,01$ ). Estos resultados concuerdan con los encontrados en estudios previos para otras partes del mundo. El coeficiente de tanque anual (kt), definido como la pendiente de la recta de regresión entre la ET y ET<sub>o</sub>, fue de 0,5713. De acuerdo con este kt, la E-T anual sobrestimaba la ET<sub>o</sub>-PM en un 75 %. En términos estacionales (primavera, verano, otoño e invierno) la ET sobrestimó la ET<sub>o</sub> entre un 66 % y 100 %. Tanto la E-T como la ET<sub>o</sub> anual mostraron una tendencia a aumentar ( $p < 0,05$ ). Teniendo en cuenta que la E-T es el resultado de una medición directa y la ET<sub>o</sub>-PM una estimación y que, ambas variables mostraron valores absolutos muy diferentes, es que se plantea la necesidad de contar con un lisímetro que permita medir de manera exacta la demanda de agua de la atmósfera y de los cultivos.

**PALABRAS CLAVE:** demanda atmosférica; uso eficiente del agua; coeficiente de tanque de evaporación; Penman-Monteith.

**ABSTRACT. COMPARISON AND EVOLUTION OF PAN EVAPORATION AND REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE SEMI-ARID CENTRAL PAMPAS REGION.** The objective of this study is to examine changes in atmospheric water demand in the central semi-arid Pampas region over the last 30 years through evaporation and reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). Data were obtained from the agrometeorological station of the College of Agronomy at UNLPam located in Santa Rosa, La Pampa. Evaporation was measured using an American-type A pan (E-T), and ET<sub>o</sub> was estimated using the Penman-Monteith equation (ET<sub>o</sub>-PM) for the period 1988-2019. Results showed that annual E-T ranged from 1850.0 to 2940.0 mm, while annual ET<sub>o</sub>-PM varied from 1130.0 to 1620.0 mm. The average annual E-T was 2332.7 mm ± 320.8 mm, and the average annual ET<sub>o</sub>-PM was 1346.4 mm ± 145.8 mm. Despite differences in absolute values, E-T and ET<sub>o</sub>-PM were directly associated ( $p < 0.01$ ), consistent with previous studies in other parts of the world. The annual tank coefficient (kt), defined as the slope of the regression line between ET and ET<sub>o</sub>, was 0.5713. According to this kt, annual E-T overestimated ET<sub>o</sub>-PM by 75 %. Seasonally (spring, summer, autumn, and winter), ET overestimated ET<sub>o</sub> between 66 % and 100 %. Both annual E-T and ET<sub>o</sub> showed an increasing trend ( $p < 0.05$ ). Considering that E-T is a direct measurement and ET<sub>o</sub>-PM is an estimation, and given the substantial differences in absolute values, there is a need for a lysimeter to precisely measure atmospheric and crop water demand.

**KEY WORDS:** atmospheric demand; water use efficiency; evaporation pan coefficient; Penman-Monteith.

### Cómo citar este trabajo:

Bazán Azargado, R. N., Vergara, G., Casagrande, G. y Méndez, M. J. (2024). Comparación y evolución de la evaporación de tanque y evapotranspiración de referencia en la región semiárida pampeana central. *Semiárida*, 34(1), 5-12.

### INTRODUCCIÓN

En las regiones semiáridas del mundo el agua es el principal factor que limita la producción agropecuaria. Conocer la demanda



de agua de la atmósfera permite planificar las actividades agropecuarias para el mejor aprovechamiento de este recurso limitante. La demanda de agua de la atmósfera se puede expresar a través de la evaporación (E) o de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) donde el suelo y el cultivo se encuentran estandarizados. La ET<sub>o</sub> es la evapotranspiración que ocurre cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo y con cobertura vegetal completa de un rygrass perenne de 10 a 15 cm de altura en activo crecimiento (Allen et al., 2006a). La ET<sub>o</sub> junto a la precipitación y capacidad de almacenaje de agua en el suelo permiten conocer las deficiencias de agua, los excesos, la evapotranspiración real (ETR) y el agua almacenada en el suelo a través del cálculo del balance hídrico de agua en el suelo (Murphy y Hurtado, 2011). Además, a partir de la ET<sub>o</sub> es posible conocer la evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>) que es la demanda de agua del cultivo. La ET<sub>c</sub> junto a la precipitación son utilizadas para calcular la necesidad de riego.

La ET<sub>o</sub> puede ser medida con instrumental (Evapotranspirómetros o lisímetros de pesada) o estimada a partir de fórmulas. El evapotranspirómetro es un instrumento que permite medir la ET<sub>o</sub> de forma exacta. Esta es la razón por la cual los valores absolutos de ET<sub>o</sub> medidos con evapotranspirómetro son los valores de referencia utilizados para ajustar las ET<sub>o</sub> estimadas con fórmula. Sin embargo, el evapotranspirómetro es un instrumento de grandes dimensiones, difícil de instalar y de alto costo de adquisición y mantenimiento. Por estas razones, es un instrumento poco frecuente en estaciones meteorológicas y agrometeorológicas de Argentina. La estimación de la ET<sub>o</sub> con fórmulas es una alternativa rápida y económica, pero menos precisa y exacta que la ET<sub>o</sub> medida con instrumental (Allen et al., 2006b). La fórmula de Penman-Monteith es la recomendada por la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) para estimar la ET<sub>o</sub>. Esta fórmula ha mostrado buenos ajustes con la ET<sub>o</sub> medida en diferentes partes del mundo bajo distintas condiciones ambientales (Smith., 1992; Allen et al., 2006b).

La E puede ser medida con un instrumento o estimada con fórmulas. El tanque de evaporación americano tipo A es el instrumento oficial para medir E. Es un instrumental sencillo y de costo relativamente bajo. El tanque A mide E desde una superficie libre de agua y la evapotranspiración es la evaporación de agua desde el suelo y desde las plantas (transpiración). El suelo y la planta ejercen una resistencia mayor a la evaporación del agua que la superficie libre de agua dentro del tanque de evaporación. Es por esto que, la E medida con el tanque A es superior a la estimada con fórmulas. A pesar de esto, la evaporación del tanque ha mostrado buenos ajustes con la ET<sub>o</sub>, pudiendo utilizarse para estimar la ET<sub>o</sub> y como una medida de los cambios en la demanda atmosférica a lo largo del tiempo. Para obtener la ET<sub>o</sub> a partir de la E es necesario utilizar un coeficiente de tanque (K<sub>t</sub>) que surge de la pendiente de la recta de regresión entre la E y la ET<sub>o</sub> (Chiew et al., 1995).

La ET<sub>o</sub> ha mostrado cambios desde el pasado al presente en diferentes partes del mundo y en la región pampeana Argentina. En regiones de China e Irán se han encontrado disminuciones en la ET<sub>o</sub> en las últimas décadas (Xu et al., 2005; Nouri et al., 2017). En el caso de China producto de la reducción de la radiación global consecuencia de la contaminación atmosférica y en Irán producto de una disminución en la velocidad de los vientos. En cambio, en Australia se encontró que, tanto la ET<sub>o</sub> como la E aumentaron en las últimas décadas en la mayor parte del territorio (Chiew et al., 1995). En el oeste de la región pampeana la ET<sub>o</sub> estimada disminuyó en el periodo 1941-1990 y 1984-2014 (De la Casa et al., 2002; D'Andrea et al., 2018). Sin embargo, otro estudio con datos de toda la Argentina no detectó cambios significativos en la tendencia de ET<sub>o</sub>-PM a pesar de encontrar un aumento de la temperatura y disminución del punto de rocío (Merino y Grassman, 2022). A pesar de la importancia de ET<sub>o</sub>, es escaso el conocimiento de la evolución de la demanda de agua del sistema suelo-planta- atmósfera para el centro este del área agrícola de la provincia de la Pampa. Es por esto que, el objetivo del presente trabajo es estudiar los cambios en la

Comparación y evolución de la evaporación de tanque y evapotranspiración de referencia en la región semiárida pampeana central demanda de agua de la atmosfera en la región semiárida pampeana central en los últimos 30 años a través de la E de tanque americano tipo A y la ETo estimada por P-M.

## METODOLOGÍA

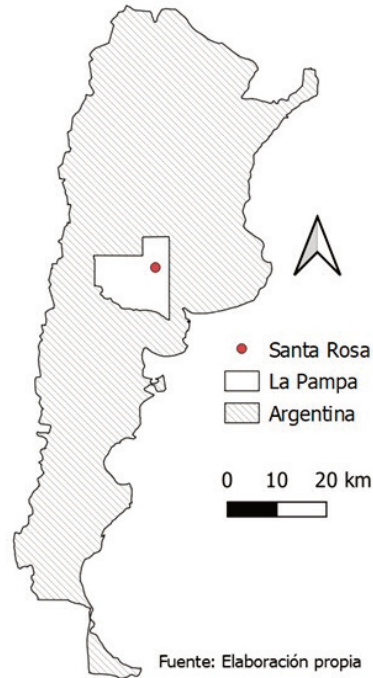
El presente trabajo se llevó a cabo en la localidad de Santa Rosa, La Pampa (36°37'S, 64°17'O y 175 msnm). El clima de la localidad es de tipo templado, con estaciones bien definidas. La temperatura anual media es de 15,7 °C, la temperatura mensual media del mes más cálido (enero) de 23,3 °C y la temperatura mensual media del mes más frío (julio) de 7,8 °C (Méndez et al., 2022). La precipitación anual media es de 728,8 mm y el régimen de precipitación es con tendencia monzónica (Murphy y Hurtado, 2011, Méndez et al., 2022). El clima clasifica como Cfa (Clima templado húmedo sin estación seca y con verano cálido) según la clasificación climática de Köppen y como C1dB'2a' (Clima subhúmedo seco, con nulo o pequeño exceso de agua, mesotermal templado frío con una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 %), según la clasificación climática de Thornthwaite (Méndez et al., 2021).

Para alcanzar el objetivo se emplearon los datos meteorológicos de la estación agrometeorológica "Ing. Agr. Juan Carlos Lasalle" para el periodo 1988-2019. A partir de las observaciones diarias de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad máxima, humedad mínima, precipitación, viento promedio a 2 m de altura se estimó la ETo diaria por el método de Penman Monteith (ETo-PM). Para el cálculo de la ETo-PM se utilizó el software AquaCrop v6.1 que utiliza la ecuación 1 (Raes et al., 2018). La radiación solar diaria requerida por la ecuación 1 fue estimada por el software AquaCrop v6.1 a partir de la ubicación geográfica de la estación agrometeorológica (36°37'S, 64°17'O y 175 msnm).

*Ecuación 1:*

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde: ETo = Evapotranspiración de Referencia (mm.día<sup>-1</sup>), Rn= Radiación neta



Fuente: Elaboración propia

**Figura 1.** Ubicación de Santa Rosa, La Pampa.

**Figure 1.** Location of Santa Rosa, La Pampa.

sobre la superficie del cultivo (MJ.m<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>), G= Densidad de flujo de calor de suelo (MJ.m<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>), T= Temperatura media diaria a 2 metros de altura (°C), U2= Velocidad del viento a 2 metros de altura (m.s<sup>-1</sup>), es= Tensión de vapor a saturación (kPa), ea= Tensión de vapor actual (kPa), es -ea= Déficit de tensión de vapor (kPa), Δ= Pendiente de la curva de tensión de vapor (kPa.°C<sup>-1</sup>), γ= Constante Psicrométrica (kPa.°C<sup>-1</sup>), 0,408 es un factor de conversión que se aplica a Rn expresado en MJ.m<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup> a evaporación equivalente expresada en mm día<sup>-1</sup>, 900 es un coeficiente para el cultivo de referencia expresado en Kg k.kJ<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>, 0,34 es un coeficiente resultante de asumir una resistencia del cultivo de 70 s.m<sup>-1</sup> y una resistencia aerodinámica de 208/u<sup>2</sup> para el cultivo de referencia (s.m<sup>-1</sup>).

La evaporación (E) fue medida con un tanque

americano tipo A (E-T), que es una estructura de hierro galvanizado de 1,21 m de diámetro y 0,255 m de profundidad, con un área aproximada de 1,14 m<sup>2</sup> y su base ubicada a 0,05 m de altura sobre una plataforma de madera. Esto último evita la conducción del calor directa entre el suelo y el tanque y permite la libre circulación de aire (OMM N°622, 1996).

Se sumaron las mediciones diarias de E-T y las estimaciones diarias ETo-PM para obtener las E-T y ETo-PM mensuales, estacionales y anuales en el periodo 1988-2019. A partir de los valores anuales y estacionales se calcularon los promedios de la serie estudiada y sus respectivos desvíos estándar.

Para determinar el grado de asociación entre la E-T y ETo-PM y el coeficiente de tanque de acuerdo al procedimiento propuesto Chiew et al., (1995) se ajustó la siguiente ecuación con el programa Microsoft Excel (2016).

*Ecuación 2:*

$$E_{to} = kt E_v$$

Donde: ETo, evapotranspiración estimada por Penman Monteith, Kt coeficiente de tanque y Ev evaporación del tanque americano tipo A.

De acuerdo con Chiew et al. (1995) la pendiente de la recta de regresión representa el valor del coeficiente de tanque. Este valor indica en qué medida la evaporación del tanque sobrestima o subestima a la ETo estimada por Penman Monteith.

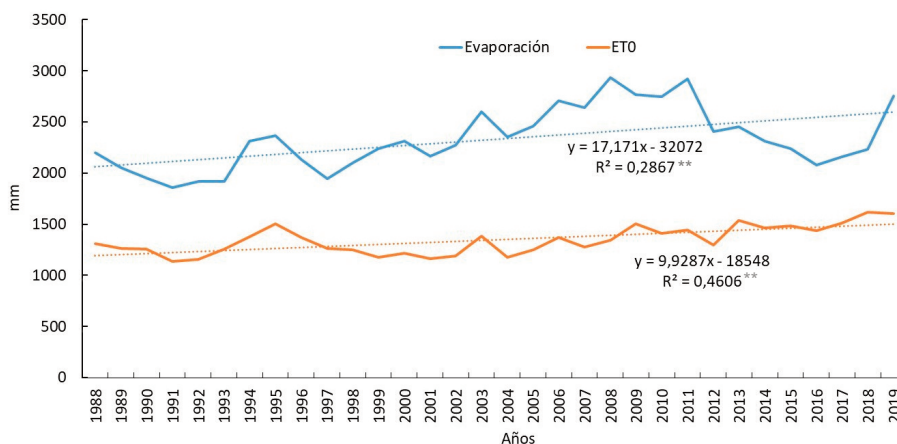
Las diferencias entre las E-T y ETo-PM medias anuales se determinaron mediante análisis de la varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) y el test de diferencias de medias LSD (Least significant difference) utilizando el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2002)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La E anual medida con tanque (E-T) para el periodo 1988-2019 varió entre 1850,0 y 2940,0 mm anuales y la ETo-PM anual estimada varió entre 1130,0 y 1620,0 mm anuales (Figura 2). La E-T anual promedio para el periodo estudiado fue de 2332,7 mm con un desvío estándar (DE) de  $\pm 320,8$  mm y la ETo-PM anual promedio fue de 1346,4 mm con un DE de

$\pm 145,8$  mm. En la bibliografía consultada por los autores de este trabajo no se encontraron reportes de E-T para la región de estudio. En tanto que, el valor promedio de la ETo-PM fue similar al reportado por Bono Rapp (2014) quien encontró para el periodo 2006-2013 que la ETo-PM anual en Anguil fue de 1284,0 mm año<sup>-1</sup>. Otros estudios encontraron que la ETo-PM anual osciló entre 1100,0 mm y 1200,0 mm, siendo estos valores de 150,0 a 250,0 mm inferiores a los encontrados en el presente estudio (Murphy, 2008; Merino y Grassman, 2022). Estos autores no especifican el origen de los datos utilizados para alimentar la fórmula de ETo-PM. No es posible determinar en los estudios previos si los datos utilizados para estimar ETo-PM fueron medidos o estimados a partir de variables atmosféricas. La falta de dicha información limita la posibilidad de establecer la causa de las diferencias encontradas entre aquellos estudios y el presente.

La E-T anual y la ETo-PM anual mostraron una tendencia a aumentar en el periodo 1988-2019 (Figura 2,  $p < 0,01$ ). La E-T mostró una tasa de aumento promedio de 17,2 mm por año y la ETo-PM un aumento promedio de 9,9 mm por año. En la bibliografía consultada no se encontraron datos de la evolución de la E-T para la región semiárida pampeana central. En tanto que, en la región pampeana Argentina se encontró que ETo-PM en el periodo 1948-2014 aumentó 7,7 mm por año, siendo esta tasa de incremento similar a la encontrada en el presente estudio (D'Andrea et al., 2018). Estos autores sugieren que el aumento de la ETo-PM se debió principalmente a la disminución de la humedad relativa (HR) en el periodo estudiado. Otro estudio, en la región pampeana Argentina encontró que la ETo-PM anual no mostró tendencia a aumentar o disminuir en el periodo 1981-2000; a pesar de que la temperatura del aire mostro un aumento de 0,2 °C por década y el punto de rocío disminuyo -0,4 °C por década (Merino y Grassman, 2022). Sin embargo, estos autores encontraron una disminución en la velocidad del viento de entre 1,5 a 2,0 m.s<sup>-1</sup> que compensó el aumento en la temperatura y la reducción en el punto de rocío. La reducción en la velocidad del viento y su efecto sobre la



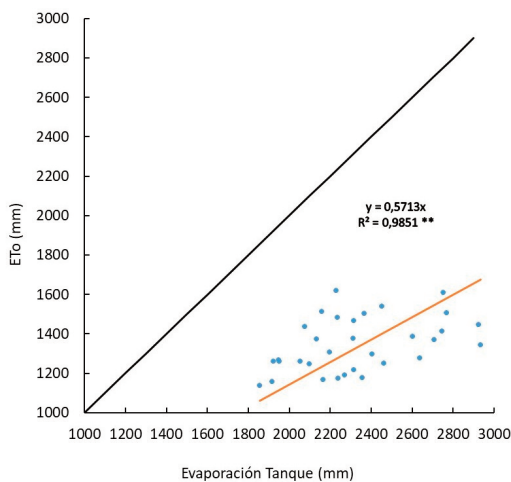
**Figura 2.** Evolución de la E-T y ETo anual en el periodo 1988-2019. \* significativo al 5 %, \*\* significativo al 1 %.  
**Figure 2.** Evolution of the annual E-T and ETo in the period 1988-2019. \* significant at 5 %, \*\* significant at 1 %.

evapotranspiración fue bien descrito en 17 regiones áridas de Irán (Nouri et al., 2017).

En promedio la E-T fue 73 % superior a la ETo-PM ( $p < 0,01$ ). Estos resultados concuerdan con los encontrados en estudios previos, donde la evaporación medida con tanque fue superior a la evapotranspiración estimada con la ecuación de Penman-Monteith (Gavilán et al., 2016; Lage et al., 2003). Estos mismos estudios encontraron que la ETo-PM subestima y la E-T sobrestima la evapotranspiración de referencia medida con lisímetro (Gavilán et al., 2016, Lage et al., 2003). Es importante tener en cuenta que la evapotranspiración de referencia medida con lisímetro de pesada es el valor más exacto y es el utilizado para ajustar la evapotranspiración de referencia estimada con la ecuación de Penman-Monteith o la evaporación medida con tanque.

A pesar de las diferencias marcadas entre el valor absoluto de la E-T y ETo-PM; ambas variables mostraron una relación estrecha y directa (Figura 3). Otros estudios, conducidos en otras partes del mundo (China y Australia)

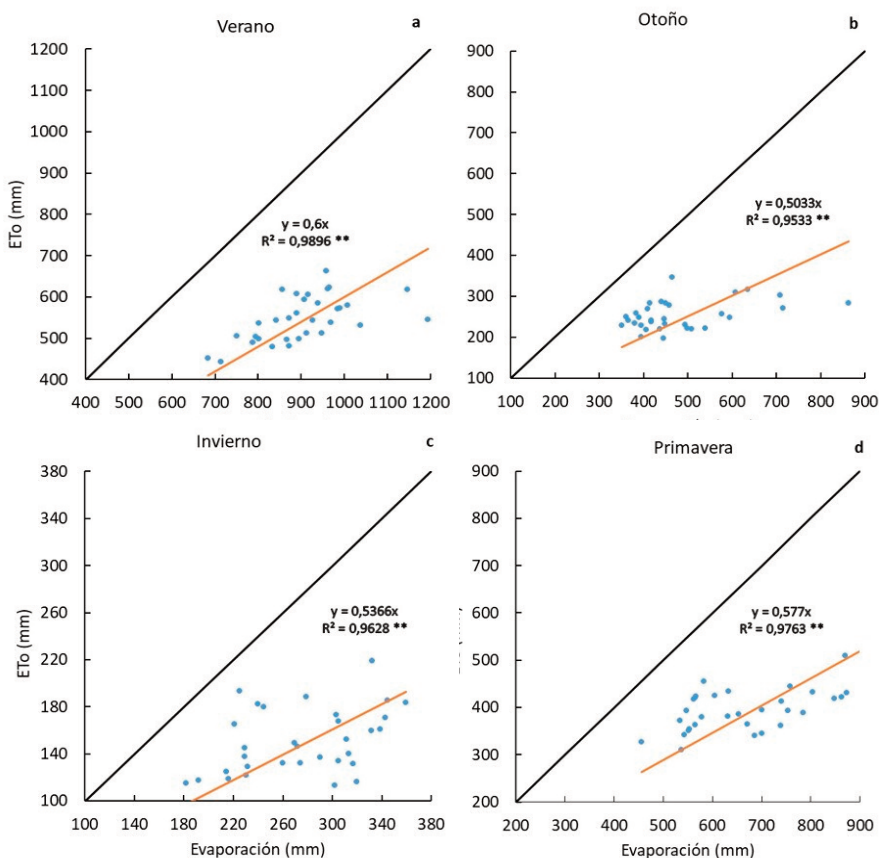
han mostrado alta asociación entre la E-T y la ETo-PM (Xu et al., 2005, Chiew et al., 1995). Sin embargo, las diferencias marcadas entre los valores absolutos de E-T y ETo-PM encontradas



**Figura 3.** Regresión entre la evaporación anual medida con tanque y evapotranspiración anual de referencia (ETo) estimada con la fórmula de Penman Monteith durante el periodo 1988-2019. \* significativo al 5 %, \*\* significativo al 1%.

**Figure 3.** Regression between annual evaporation measured with a tank and annual reference evapotranspiration (ETo) estimated with the Penman Monteith equation during the period 1988-2019. \* significant at 5 %, \*\* significant at 1 %.





**Figura 4.** Regresión entre la evaporación estacional medida con tanque y evapotranspiración estacional de referencia (ETo) estimada con la fórmula de Penman Monteith durante el período 1988-2019. \* significativo al 5 %, \*\* significativo al 1 %.

**Figure 4.** Regression between seasonal evaporation measured with a tank and reference seasonal evapotranspiration (ETo) estimated with the Penman Monteith equation during the period 1988-2019. \* significant at 5 %, \*\* significant at 1 %.

en el presente estudio, conducen a distintas interpretaciones agronómicas. Por ejemplo, las diferentes evapotranspiraciones de cultivo estimadas a partir de la E-T o de la ETo-PM determinarían diferentes necesidades de agua del cultivo y necesidades de riego. Los resultados obtenidos en este estudio plantean la necesidad de contar con valores de evapotranspiración de referencia medidos con lisímetro a fin de cuantificar con exactitud la evapotranspiración de referencia. Estas mediciones obtenidas con lisímetro permitirán evaluar la exactitud de la E-T y la ETo-PM para estimar la ETo y desarrollar coeficientes de ajustes.

El coeficiente de tanque (Kt) anual

determinado por la metodología propuesta Chiew et al. (1995) fue de 0,5713 (Figura 3). Este valor de Kt está por debajo de los encontrados por Chiew et al. (1995) para distintas regiones de Australia (Kt promedio 0,65). En China para tanques de evaporación de 0,2 m de diámetro (D20) instalados a 1,0 m de altura los Kt oscilaron entre 0,65 y 0,75 (Xu et al. 2005). Estos Kt más altos reportados por Xu et al. (2005) posiblemente se deban a que el tanque de evaporación utilizado por estos autores fue instalado a mayor altura (1 m de altura) donde la temperatura del aire durante el día es menor.

La E-T estacional vario entre 700 mm y

1100,0 mm en verano, entre 350,0 mm y 800,0 mm en otoño, entre 200,0 mm y 400,0 mm en invierno y entre 450,0 mm y 800,0 mm en primavera (Figura 4). La ETo-PM estacional varío entre 450,0 mm y 700,0 mm, 200,0 mm y 350,0 mm, 100,0 mm y 250,0 mm, y entre 400,0 mm y 550,0 mm en verano, otoño, invierno y primavera respectivamente (Figura 4). Al igual que los valores anuales, los valores absolutos estacionales de E-T y ETo-PM difirieron de manera marcada. Los coeficientes de tanque estacionales ( $K_t$ ) oscilaron entre 0,5 (otoño) y 0,6 (verano). No se encontraron en la bibliografía coeficientes de tanque estacionales para la región semiárida pampeana central. Los  $K_t$  encontrados en este estudio están dentro del rango de valores encontrados en 16 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio australiano (Chiew et al., 1995). Similares  $K_t$  también fueron encontrados en la cuenca del río Yangtze de China para tanques D-20 (Xu et al., 2005). En Karnal (India) se reportaron  $K_t$  de 0,80, los cuales fueron superiores a los encontrados en este y otros estudios (Lage et al., 2003).

De acuerdo con los  $K_t$  encontrados la E-T estacional fue entre un 66 % (verano) y un 100 % (otoño) superior a la ETo-PM estacional. Estas diferencias sugieren la necesidad de contar con medidas de lisímetro, a fin de ajustar las ETo estimadas por PM y la E-T con la evapotranspiración medida. A pesar de las diferencias en los valores absolutos de E-T y ETo-PM estacionales (primavera, verano, otoño e invierno), ambas variables se encontraron fuertemente asociadas (Figura 4,  $p < 0,01$ ). Estos resultados coinciden con los de estudios previos en otras regiones del mundo, donde se encontraron asociaciones estacionales entre la ETo-PM y E-T (Chiew et al., 1995, Lage et al., 2003, Xu et al., 2005).

## CONCLUSIONES

La E-T y la ETo-PM anual aumentaron 17,2 y 9.9 mm por año respectivamente en la región centro este del área agrícola en el periodo 1988-2019. La E-T y la ETo-PM, anual y estacional, estuvieron asociadas de manera estrecha y directa. El coeficiente de tanque anual

( $K_t = 0,5713$ ) mostró que la E-T anual sobrestima un 75 % la ETo-PM anual. Los  $K_t$  estacionales (0,5 y 0,6) mostraron que la E-T sobrestimo la ETo-PM de un 66 % en verano a un 100 % en otoño. Las diferencias en valor absoluto entre la E-T y la ETo-PM plantean la necesidad de contar con valores medidos con lisímetro que permitan conocer con exactitud la ETo. Esto permitirá ajustar la E-T y la ETo-PM mejorando la exactitud de las estimaciones de la demanda atmosférica. Estimaciones más precisas de la evapotranspiración de referencia permitirán cálculos más exactos de la demanda de agua de los cultivos, de las necesidades de riego y de las deficiencias y excesos de agua en el suelo. Permitiendo hacer un uso más eficiente del agua que es el elemento limitante en regiones semiáridas y subhúmeda como la que se llevó a cabo el presente estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (2006a). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO, 298(0).
- Allen, R. G., Pruitt, W. O., Wright, J. L., Howell, T. A., Ventura, F., Snyder, R., ..., & Elliott, R. (2006b). A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural water management*, 81(1-2), 1-22.
- Bono Rapp, F. D. (2014). Comparación de cinco metodologías de estimación de la evapotranspiración para cuatro localidades de la pampa húmeda y semiárida argentina. (Tesina Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad Nacional de La Pampa. [http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/x\\_boncom889.pdf](http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/x_boncom889.pdf)
- Chiew, F. H. S., Kamaladasa, N. N., Malano, H. M. y McMahon, T. A. (1995). Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. *Agricultural Water Management*, 28(1), 9-21.
- D'Andrea, M. F., Rousseau, A. N., Bigah, Y., Gattinoni, N. N., & Brodeur, J. C. (2018). Trends in reference evapotranspiration and associated climate variables over the last 30 years (1984-2014) in the Pampa region of Argentina. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 1371-1386.
- De la Casa, A. C., Ovando, G. G. y Rodríguez, A. R. (2002). Evolución de la humedad del aire en la Provincia de Córdoba, Argentina, en el periodo 1941-1990 y su influencia sobre la evapotranspiración de referencia durante el mes de enero. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 31(2), 57-72.

- Bazán Azargado, R. N., Vergara, G., Casagrande, G. y Méndez, M. J.
- Di Rienzo, J.A., Balzarini, M., Casanoves, F., González, L., Tablada, M., Robledo, C. W. 2002. Infostat/Profesional versión 1.1.
- Gavilán, M. P., Estévez, J. y Berengena, J. (2016). ETo estandarizada en el sur de España ¿Cuál debe ser la referencia? In XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla 2016. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola.
- Lage, M., Bamouh, A., Karrou, M., & El Mourid, M. (2003). Estimation of rice evapotranspiration using a microlysimeter technique and comparison with FAO Penman-Monteith and Pan evaporation methods under Moroccan conditions. *Agronomie*, 23(7), 625-631.
- Méndez, M., Vergara, G. y Casagrande, G. (2022). SUPLEMENTO 1: Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Periodo 1977-2021. *Semiárida*, 32, 7-41.
- Méndez, M., Vergara, G., Casagrande, G. y Bongianino, S. (2021). Clasificación climática de la región agrícola de la provincia de La Pampa, Argentina. *Semiárida*, 31(2), 9-20.
- Merino, R. A. y Gassmann, M. I. (2022). Trends of reference evapotranspiration and its physical drivers in southern South America. *International Journal of Climatology*, 43(3), 1593-1609.
- Microsoft® Excel® (2016) MSO (versión 2310 compilación 16.0.16924.20054) de 32 bits
- Murphy, G. M. y Hurtado, R. H. (eds). (2011). *Agrometeorología*. Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
- Murphy, G. M. (2008). *Atlas agroclimático de la Argentina* (N°630.2515). FAUBA.
- Nouri, M., Homaei, M., & Bannayan, M. (2017). Quantitative trend, sensitivity and contribution analyses of reference evapotranspiration in some arid environments under climate change. *Water Resources Management*, 31, 2207-2224.
- OMM. (1996). "Compendio de apuntes sobre instrumentos meteorológicos para la formación del personal meteorológico de las clases III y IV", vol. I.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2018). Reference manual for AquaCrop, version 6.0/6.1. AquaCrop Website <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>.
- Smith, M. (1992). Expert Consultation on Revision of FAO Methodologies for Crop Water Requirements: Meeting: Report. Food and Agriculture Organization.
- Xu, C. Y., Gong, L., Jiang, T., Chen, D., & Singh, V. P. (2005). Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Journal of hydrology*, 327(1-2), 81-93.