

# MÉTODOS DE CÁLCULO DEL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR MEDIO DIARIO Y SU EFECTO SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN LA LOCALIDAD DE BALCARCE, ARGENTINA

Andrea I. Irigoyen<sup>1</sup>, Aída Della Maggiora<sup>2</sup> y Jesús M. Gardiol<sup>3</sup>

**ABSTRACT-** Vapour pressure deficit calculation procedures based on temperature, temperature and relative humidity and saturation vapour pressure are evaluated. A method using the average of air temperature in saturation pressure and average relative humidity for actual vapour pressure is currently used at Balcarce (Arg.). Methods based on determination of daily average vapour saturation pressure at maximum and minimum temperatures give similar results for vapour pressure deficit and evapotranspiration. Intermediate performances are achieved with methods based on hourly temperature and relative humidity. Poor results are obtained with vapour pressure deficit that consider saturation vapour pressure at minimum as actual vapour pressure. Non-dimensional relative sensitivity coefficients ranges from 0,27 to 0,43.

## INTRODUCCIÓN

La presión de vapor real (ea) es una de las expresiones más comunes del contenido de vapor de agua en la atmósfera y es una variable necesaria para el cálculo del déficit de presión de vapor (es-ea). El déficit de presión de vapor es una de las variables de entrada en la estimación de la evapotranspiración de referencia según el método patrón Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Estos autores proponen alternativas para el cálculo del déficit de presión en función de la humedad relativa, del punto de rocío y de datos psicrométricos. Lyra *et al.* (2004), para las condiciones climáticas de Piracicaba (Brasil), señalan diferencias significativas en los valores estimados de la evapotranspiración de referencia al emplear diferentes métodos de cálculo del déficit de saturación. La mejor estimación de la evapotranspiración de referencia se obtiene a partir del déficit de presión de vapor que emplea la temperatura media para la determinación de la presión de vapor a saturación y la humedad relativa media para la determinación de la presión de vapor real. En la localidad de Balcarce, se emplea como método de rutina la determinación de la evapotranspiración de referencia Penman-Monteith con ese mismo método de cálculo del déficit presión de vapor, considerando la aptitud determinada por Della Maggiora *et al.* (1997) para las condiciones locales.

Los objetivos de este trabajo son comparar métodos de cálculo del déficit de presión de vapor a escala diaria y evaluar el efecto de la aplicación de los diferentes métodos de cálculo del déficit de presión de vapor en la estimación de la evapotranspiración de referencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos de cálculo del déficit de presión de vapor aplicados se detallan en la Tabla 1. Siendo que Tmed es la media diaria de temperatura del aire obtenida entre máxima (Tmáx) y mínima (Tmín), T24 es

la media diaria de temperatura obtenida a partir de valores horarios, HRmed es la media diaria de humedad relativa obtenida entre máxima (HRmáx) y mínima (HRmín) y HR24 es la media diaria de humedad relativa obtenida a partir de valores horarios.

El método 3 se utiliza como rutina de cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET0) en la estación agrometeorológica de la EEA Balcarce INTA (37° 45' Lat. S y 58° 18' Long. W y se empleará como patrón en las comparaciones.

Tabla 1. Métodos de cálculo del déficit medio diario de presión de vapor agrupados por las variables de estimación.

I. Temperatura	
Método 1	$es_{(T_{med})} - es_{(T_{min})}$
Método 2	$es_{(T_{24})} - es_{(T_{min})}$
II. Temperatura y humedad relativa	
Método 3	$es_{(T_{med})} - (1 - 0,01HR_{med})$
Método 4	$es_{(T_{24})} - (1 - 0,01HR_{24})$
III. Presión de saturación	
Método 5	$\{[es_{(T_{máx})} + es_{(T_{mín})}]/2\} - es_{(T_{min})} 0,01HR_{máx}$
Método 6	$\{[es_{(T_{máx})} + es_{(T_{mín})}]/2\} (1 - 0,01HR_{med})$
Método 7	$\{[es_{(T_{máx})} + es_{(T_{mín})}]/2\} (1 - 0,01HR_{24})$
Método 8	$[es_{(T_{máx})}(1 - 0,01HR_{min}) + es_{(T_{min})}(1 - 0,01HR_{máx})]/2$

Se calcula la evapotranspiración de referencia (ET0) a paso diario para la serie 1992-2000, según el método patrón Penman-Monteith FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) con los diferentes déficit de presión de vapor.

La comparación de los métodos se realiza para los valores estimados de déficit de presión de vapor y evapotranspiración de referencia de la serie 1992-2000, a través del ajuste por regresión y la determinación de índices según IRENE (Integral Resources for Evaluating Numerical Estimates, descriptos en Fila *et al.*, 2003). Se calcula el coeficiente de sensibilidad relativa (Sr), siguiendo a Mc Cuen (1973), como indicador del efecto del déficit de presión de vapor sobre la evapotranspiración de referencia.

$$Sr = \{900 (\gamma u_2) / s + \gamma (1 + 0.34u_2)(T_{med} + 273)\} (ea - es) / ET0$$

donde  $\gamma$  es la constante psicrométrica ( $0,0633 \text{ kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $u_2$  es la velocidad del viento media diaria a 2 m ( $\text{ms}^{-1}$ ),  $s$  es la derivada de la curva de presión de vapor en el punto de Tmed y ET0 es la evapotranspiración de referencia.

<sup>1</sup> Unidad Integrada Fac. Cs. Agrarias UNMdP-EEA Balcarce INTA (Argentina) airigoyen@balcarce.inta.gov.ar

<sup>2</sup> Unidad Integrada Fac. Cs. Agrarias UNMdP-EEA Balcarce INTA (Argentina) adellamaggiora@balcarce.inta.gov.ar

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales UBA (Argentina) gardiol@at.fcen.uba.ar

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias de déficit de presión de vapor obtenidas con los diferentes métodos varían entre 0,31 y 0,67 kPa (Tabla 2). Los índices de concordancia entre los valores obtenidos según los métodos evaluados y los correspondientes al método empleado como patrón (método 3) varían entre 0,70 (método 5) y 0,99 (método 6). La raíz cuadrada del cuadrado medio de error (RCME) varía entre 0,04 kPa (método 6) y 0,36 kPa (método 5). El error absoluto medio alcanza valores comprendidos entre 0,03 kPa (método 6) y 0,30 kPa (método 5), representando un 8 y 80% del valor medio obtenido con el método 3, respectivamente.

Los métodos 4 y 7, que emplean en el cálculo valores horarios de temperatura y humedad relativa, muestran un adecuado comportamiento, no tan distante del método 6, que resulta el método que genera los valores más semejantes a los provenientes del método 3. Los valores obtenidos con el método 5 son los que más se alejan de los obtenidos con el método empleado como patrón, resultando una marcada sobreestimación de los valores de déficit de presión de vapor.

Tabla 2. Déficit medio diario de presión de vapor calculado por diferentes métodos y coeficientes del ajuste por regresión entre los valores estimados y observados (n=3117).

	Media (kPa)	a (kPa)	b	R <sup>2</sup>
Método 1	0,53	0,1302	1,0891	0,7631
Método 2	0,49	0,1212	1,0042	0,5807
Método 3	0,37			
Método 4	0,31	-0,0174	0,8995	0,7894
Método 5	0,67	0,1185	1,5040	0,7763
Método 6	0,39	-0,0109	1,1060	0,9934
Método 7	0,34	-0,0303	1,0999	0,8105
Método 8	0,53	-0,0334	1,5340	0,9598

Las medias de evapotranspiración de referencia media diaria obtenidas con los diferentes métodos de cálculo del déficit de presión varían entre 2,32 y 2,85 mmd<sup>-1</sup> (Tabla 3). Los métodos presentan ajustes cercanos a la recta 1:1. Los índices de concordancia entre los valores obtenidos con los métodos evaluados y los respectivos al método 3 varían entre 0,96 (método 5) y 0,99 (método 6). La raíz cuadrada del cuadrado medio de error (RCME) varía entre 0,06 mmd<sup>-1</sup> (método 6) y 0,61 mmd<sup>-1</sup> (método 5). El error absoluto medio alcanza valores comprendidos entre 0,04 mmd<sup>-1</sup> (método 6) y 0,50 mmd<sup>-1</sup> (método 5), que representan un 2 y 21% del valor medio obtenido con el método 3. Los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) son elevados y superiores a 0,95 en todos los métodos. No obstante, se observa también una mayor semejanza de los métodos 6, 4 y 7 con el método 3 utilizado en la rutina de cálculo de evapotranspiración de referencia. Si se aplica el método 5, la evapotranspiración de referencia resultante es un 20% superior al método de rutina.

Tabla 3. Evapotranspiración de referencia según Penman-Monteith (FAO-56) con diferentes métodos de cálculo del déficit medio diario de presión de vapor y coeficientes del ajuste por regresión entre los valores estimados y observados (n=3117).

	Media mmd <sup>-1</sup>	a mmd <sup>-1</sup>	b	R <sup>2</sup>
Método 1	2,52	0,0451	1,0511	0,9893
Método 2	2,56	0,1339	1,0278	0,9520
Método 3	2,36			
Método 4	2,27	-0,0675	0,9910	0,9841
Método 5	2,85	0,2405	1,1080	0,9577
Método 6	2,40	-0,0013	1,0195	0,9992
Método 7	2,32	-0,0640	1,0113	0,9832
Método 8	2,62	0,0204	1,1024	0,9892

La evapotranspiración de referencia Penman-Monteith (FAO-56) es menos sensible a los métodos 4 y 7, mientras que es más sensible a los métodos 1 y 5. Un error de estimación del 10% en el déficit de presión de vapor implica un incremento del 4,3% en el caso de los métodos 1 y 5, mientras que un error de igual magnitud implica un incremento de aproximadamente 3% si se emplean los métodos 3, 4, 6 y 7.

Los métodos basados en la determinación de la media diaria de presión de vapor a saturación a temperaturas máxima y mínima proporcionan resultados semejantes en la evapotranspiración de referencia. Los métodos que consideran valores horarios de temperatura y humedad relativa presentan un comportamiento intermedio. Los resultados menos satisfactorios son obtenidos cuando se aplican métodos de cálculo del déficit de presión que consideran la presión de vapor saturada a la temperatura mínima, como presión de vapor real.

## REFERENCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S. Raes, D. Y D. Smith. Crop evapotranspiration. Guides for computing crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Paper N° 56. FAO, Rome, Italy, 300 p, 1998.
- Della Maggiora, A.; Gardiol, J.; Irigoyen, A. y L. ECHARTE. Estimación de la evapotranspiración de referencia con el método de Penman-Monteith en Balcarce. Rev. de la Fac. de Agron. Tomo 17 N° 1, 123-126, 1997.
- Fila, G.; Bellocchi, G.; Acutis, M. Y M. Donatelli. Irene: A Software to evaluate model performance. European J. Agronomy 18: 369-372, 2003.
- Lyra, G.; Pereira, A.R.; Lyra, G.; Sediya, G.; Santiago, A. Y M. Folegatti. Média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água e sua influência na evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith em Piracicaba-SP. Eng. Agr. V.24 N2:328-337, 2004.
- Mccuen, R. The role of sensitivity analysis in hydrologic modeling. J. of Hydrology 18:37-53, 1973.