



## Estimación de los excesos hídricos en la cuenca del Arroyo El Pescado (Provincia de Buenos Aires)

*Eduardo Kruse, P. Laurencena, M. Deluchi, J.A. Forte Lay y A. Rojo*

Cátedra de Hidrología General, calle 64 n° 3. La Plata. Buenos Aires, Argentina  
Mail de contacto: [kruse@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:kruse@fcaglp.unlp.edu.ar)

### RESUMEN

Se analizan los excesos de agua obtenidos en los balances hídricos, a partir de la estimación de la evapotranspiración potencial según Thornthwaite Mather (TM) y Penman Monteith (PM). Se evalúan los resultados para distintos pasos de tiempo y a nivel diario se los relacionan con las variaciones de los niveles freáticos. Los resultados indican que los excesos promedios (1988 – 2006) a partir de PM presentan valores menores que los correspondientes a TM. A nivel mensual se diferencian las situaciones según períodos con lluvias por encima y por debajo de la media, destacándose para estos últimos períodos sin excesos según PM. Ambas metodologías muestran relación entre el ascenso de los niveles freáticos y los excesos de agua, especialmente cuando éstos adquieren valores significativos. Para lograr un detalle de la real influencia hidrológica, se requiere la verificación a partir de mediciones directas.

Palabras clave: evapotranspiración, excesos, balance hídrico.

### ABSTRACT

Water excess derived from hydrological balances are analyzed considering the potential evapotranspiration models as from either Thornthwaite Mather (TM) and Penman Monteith (PM). Results at different time laps and on a daily basis are evaluated in relation to the water-table changes. The results show that the average excesses (1988 – 2006) from PM have lower values than that of TM's. On a monthly basis analysis different scenarios are identified depending whether they are periods with rainfall above and below the average with remarked periods without water excesses according to PM. Both methodologies coincide in showing the relation between the water-table rise and the water excesses from balances, especially for significant values. Direct measurements of the phreatic level progress through time are needed to achieve a detailed knowledge of the actual hydrological influence.

Keywords: evapotranspiration, excesses, hydric balance.

### Introducción

Los excesos de agua de un balance hídrico, en una región húmeda, constituyen los volúmenes de agua con posibilidad de escurrir superficialmente o infiltrarse en un sistema hidrológico. En los ambientes de llanura predominan los movimientos verticales del agua (Fuschini Mejía, 1983) (infiltración y evapotranspiración), mientras que los horizontales (escurrimiento superficial) tienden a 0 o son muy bajos en términos medios y regionales (Sala et al, 1983). De modo que un importante volumen de los excesos hídricos formará parte de la recarga del agua subterránea (Laurencena et al, 2005).

A través de un balance entre la precipitación (principal ingreso de agua al sistema) y la

evapotranspiración, condicionada por la variación en la humedad del suelo y el consumo para el crecimiento de la vegetación, es posible estimar los excesos hídricos. La dificultad de mediciones directas de la evapotranspiración ha llevado a desarrollar numerosas metodologías que permiten su estimación a partir de datos de obtención más sencilla. Dada la importancia que adquieren para las aplicaciones en los cultivos dichos desarrollos presentan en general una fuerte componente agronómica.

Las metodologías de uso frecuente para la estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) utilizan fórmulas empíricas (Kruse y Zimermann, 2002) como Thornthwaite – Mather (1955) o semiempíricas para la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) como

Penman – Monteith (Monteith, 1965), adaptada por Allen et al, 1998. La diferencia entre ambas consiste en los componentes que se utilizan para definir la ETP y la  $ET_0$ . La ETP es calculada a partir de la temperatura media y está en función de un índice calórico anual. En la  $ET_0$  intervienen un término referido a la radiación y otro a la aerodinámica. Cuando la  $ET_0$  es afectada por un coeficiente, Kc, denominado de cultivo o cobertura se obtiene la ETC, evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar. Los factores fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración están expresados en la ETC.

Entre los procedimientos para la estimación del balance hídrico del suelo en ámbitos de la llanura pampeana es habitual emplear a Thornthwaite – Mather (1955), para el cual diferentes autores han diseñado softwares para su cálculo como por ejemplo Balshort (Carrica, 1993) y Agroagua (Forte Lay et al., 1995).

El objetivo de este trabajo es comparar los valores de los excesos hídricos obtenidos a partir de las metodologías citadas y su incidencia en la respuesta de los niveles freáticos.

### **Materiales y Métodos**

En el análisis efectuado se han utilizado datos meteorológicos de La Plata con registros diarios de lluvias y temperaturas para el período 1988 – 2006.

De los registros freáticos disponibles se seleccionaron los datos diarios de dos años. Uno con lluvias anuales (media anual, 1060mm) por debajo del valor medio (857mm) y otro con registros por encima (1496 mm), en los cuales se compararon los excesos estimados por los diferentes métodos con la variación de los niveles freáticos.

La estimación de la evapotranspiración se efectuó mediante los métodos de Thornthwaite – Mather (TM) y Penman – Monteith (PM). Para la elaboración de los balances hídricos se emplearon los programas Balshort y Agroagua. Además se planteó como variante la estimación a partir de TM, pero empleando la serie de temperaturas mensuales medidas para el mismo período, lo cual se denominará Thornthwaite seriado (TS). Se empleó una capacidad de campo (CC) de 200 mm. Las experiencias realizadas por Auge (1995) utilizando valores de 100, 200 y 300 mm de CC demuestran que 200 mm es la más afín con el tipo de suelo y vegetación dominante en el área de estudio.

Los datos de entrada al programa Balshort son: precipitación diaria para el período a analizar, la ETP promedio mensual, la cual se puede determinar por las diferentes metodologías existentes, capacidad de campo, reserva inicial de agua y la textura del suelo.

La ETP mensual se calculó utilizando Thornthwaite - Mather. En este caso es la ETP promedio mensual del período analizado, que el programa transforma en ETP diaria según el criterio de Burgos y Forte Lay (1983). Se consideró una textura de suelo limosa.

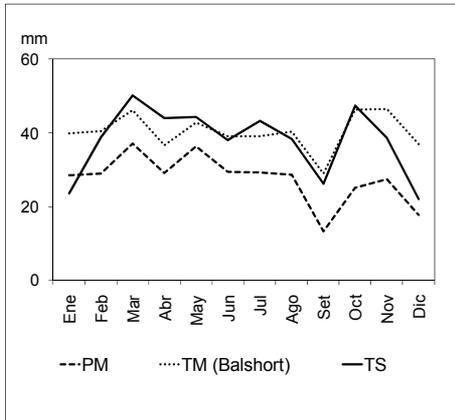
El programa Agroagua requiere la entrada de precipitación diaria y la ETP media mensual normal. Se obtienen balances hídricos diarios reemplazando la ETP diaria por su valor climático o normal diario que el programa estima a partir de los 12 valores mensuales normales de la localidad considerada. La ETP puede ser calculada por cualquier método al igual que el programa anterior. La ETP diaria puede ser modificada aplicando coeficientes Kc a lo largo del año. En este caso se calculó la ETP según Penman Monteith, se usó un Kc = 1 correspondiente a una pradera permanente en continuo crecimiento con pastos relativamente bajos, con lo cual la ETP diaria no es modificada. Se empleó la misma CC y un punto de marchitez permanente (PMP) de 120 mm acorde para el área de estudio. A partir del programa se obtuvieron los valores de almacenaje, ETR, déficit y excesos diarios.

Para el balance hídrico de TS, se estimó la evapotranspiración potencial del período 1988 - 2006, a partir de datos de temperaturas mensuales medidas y del índice calórico mensual, para la latitud de la ciudad de La Plata. Se utilizaron datos de precipitación mensual y se atribuyó una capacidad de retención del suelo igual a la mencionada. Se estimaron la evapotranspiración real, excesos y déficit mensuales, para ser comparadas con las metodologías antes descriptas.

### **Resultados**

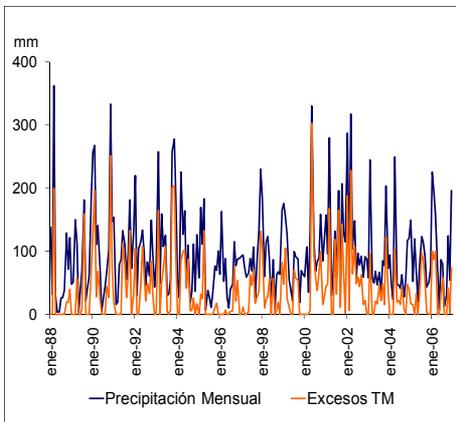
Los excesos mensuales (promedio 1988-2006) muestran una misma tendencia en las variaciones estacionales a través del tiempo según las distintas metodologías (Fig. 1). Los obtenidos a partir de PM presentan diferencias que varían entre 15% y 45% menos. Los valores menores corresponden al período otoño-invierno y los mayores a los meses de primavera-verano. La comparación entre TS y TM pone en evidencia que los mayores excesos que se registran en los meses de verano, en el último método, se relacionan con las diferencias en la ETP dadas por la

utilización de los promedios mensuales en la temperatura. En la medida que la temperatura mensual sea superior a la promedio, se estiman valores mayores ETP, lo que determina menores excesos (Fig.1).



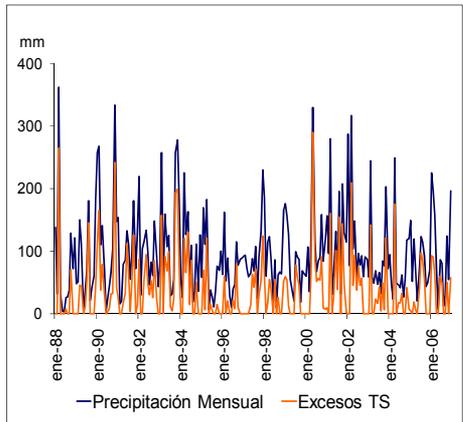
**Fig. 1.** Excesos promedio para el período 1988-2006 según las metodologías Thornthwaite Mather (TM), Thornthwaite Seriado (TS) y Penman Monteith (PM).

Al analizar las metodologías a nivel mensual se observan diferencias según se trate de períodos más o menos lluviosos.



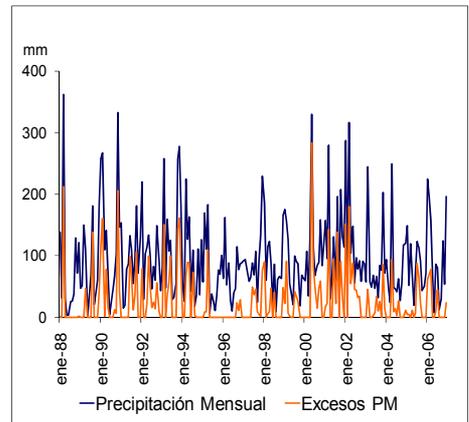
**Fig. 2.** Serie de precipitaciones y excesos mensuales según Thornthwaite Mather (TM).

El método TM muestra excesos menores con respecto a TS en los años 1995-1996, en donde los promedios de precipitación se encuentran por debajo de la media. Para años lluviosos (2000-2001) presentan valores similares de excesos, exceptuando los meses de verano (Fig. 2 y 3).



**Fig. 3.** Serie de precipitaciones y excesos mensuales según Thornthwaite Seriado (TS).

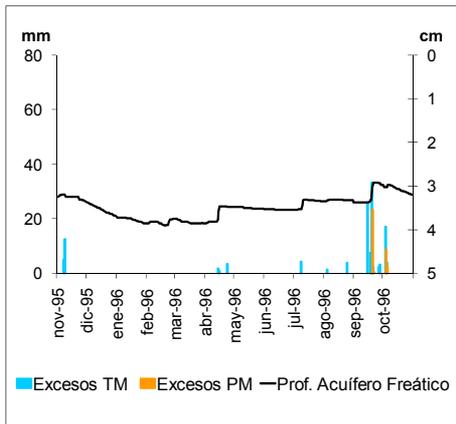
Las diferencias entre las metodologías anteriores y PM (Fig. 2, 3 y 4) se manifiestan especialmente en la existencia para este último método de meses sucesivos sin excesos.



**Fig. 4.** Serie de precipitaciones y excesos mensuales según Penman Monteith (PM).

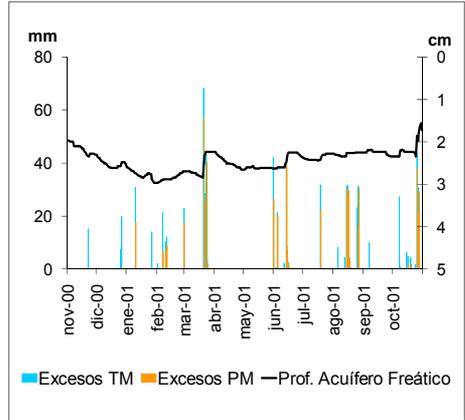
Tal como fue mencionado para el análisis diario, se seleccionaron dos años hidrológicamente diferentes, uno con valores de precipitación por debajo de la media (1996) y otro con valores por encima (2001). Se compararon los excesos diarios estimados con las variaciones en la profundidad del nivel freático de acuerdo a los datos obtenidos del freatígrafo instalado en la cuenca del Arroyo El Pescado (Laurencena et al., 2002). Dado que a nivel mensual se observaron escasas variaciones entre los métodos TM y TS, se optó por analizar en forma diaria los métodos TM y PM.

En 1996 (Fig. 5) se observa que el ascenso de los niveles responde en la mayoría de los casos en forma directa a los excesos según TM. En cambio, la metodología de PM muestra una relación estrecha sólo en los meses de mayores excesos de agua (en este caso entre septiembre y noviembre).

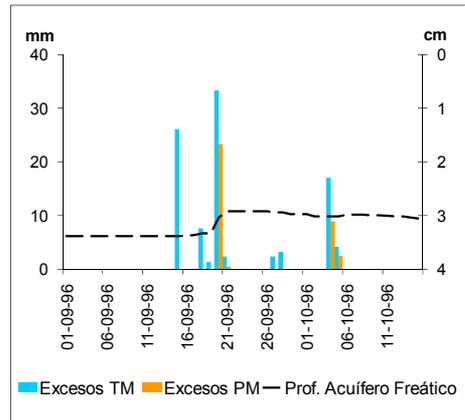


**Fig. 5.** Excesos diarios según PM y TM y profundidad del acuífero freático.

En 2001 (Fig. 6), en forma general existe una buena correspondencia entre el ascenso de los niveles freáticos y los excesos por ambos métodos. Las diferencias se encuentran en el verano, en donde las variaciones en el nivel concuerdan con los excesos obtenidos por TM, mientras que PM no los manifiesta.

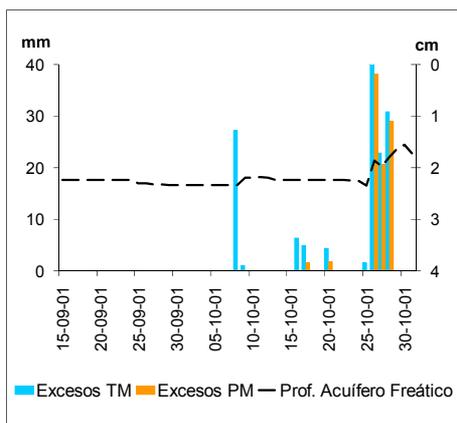


**Fig. 6.** Excesos diarios según PM y TM y profundidad del acuífero freático.



**Fig. 7.** Excesos diarios según PM y TM y profundidad del acuífero freático desde 1/09/96 hasta 15/10/96

Un análisis más detallado, considerando los eventos en meses cálidos entre 1/9/1996 y 15/10/1996 (Fig. 7) y entre 15/10/2001 y 30/11/2001 (Fig. 8) permite reconocer una respuesta de los niveles freáticos que es coincidente con los excesos de ambos métodos



**Fig. 8.** Excesos diarios según PM y TM y profundidad del acuífero freático desde 15/09/00 hasta 31/10/01

cuando éstos últimos tienen una magnitud superior a los 10 mm. Los excesos menores a 10 mm no presentan una respuesta en los niveles freáticos, siendo TM el método que presenta con más frecuencia dichos valores.

### Conclusiones

Los excesos hídricos mensuales en lapsos de tiempo prolongado (20 años) ponen de manifiesto que las metodologías de TM y TS presentan valores similares. En cambio la diferencia entre éstas y PM es más significativa, ya que para este caso son entre 15 y 45% menores. En las series mensuales con precipitaciones por debajo de los valores medios la diferencia existente es que sólo PM registra lapsos mensuales más extensos y sucesivos sin excesos.

Las metodologías utilizadas manifiestan un ascenso en los niveles freáticos diarios cuando los excesos estimados son superiores a los 10 mm.

Los métodos utilizados para la obtención de los excesos de agua, a partir de los balances hídricos, estiman la evapotranspiración teniendo como objetivo los requerimientos agronómicos, donde la mayor atención es la variación en el almacenamiento del agua en el suelo y las necesidades de los cultivos y no a los excesos de agua que constituirán la recarga del sistema subterráneo.

Los resultados obtenidos para las condiciones de llanura en clima húmedo indican valores aceptables para una primera aproximación en una evaluación hidrológica regional. La disponibilidad de información básica para

efectuar la estimación es un condicionante para seleccionar la metodología a utilizar.

Si bien ambas metodologías brindan una primera aproximación regional acerca de las posibilidades de infiltración en el área estudiada, para obtener valores de excesos de agua que resulten más significativos en el balance hídrico, es necesaria la verificación a partir de mediciones directas.

### Referencias

- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith, M. 1998. FAO Irrigation and Drainage. Paper N° 56. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). 290 pp., ISBN 92-5-104219-5.
- Auge, M.P., 1995. Manejo del agua subterránea en La Plata, Argentina. Convenio IDRC - UBA. Informe Final. La Plata.
- Burgos, J.J. y J.A. Forte Lay. 1983. Método para habilitar la información de la red pluviométrica en el estudio areal del régimen de sequía edáfica. Taller argentino - estadounidense sobre sequías (Conicet - NSF). Mar del Plata. Actas: 72 - 87. Buenos Aires.
- Carrica, J. 1993. Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental Pampeana. Actas XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Tomo XXXX Buenos Aires, 111-111.
- Forte Lay, J. A.; Aiello J. L. y J. Kuba. 1995. "Software AGROAGUA Versión 4.0"
- Fuschini Mejia MC (1983) Editor. Hidrología de Grandes Llanuras. Actas del Coloquio de Olavaria. PHI - UNESCO. Olavaria.
- Kruse, E. y Zimmermann, E. 2002. Hidrogeología de Grandes Llanuras. Particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina). XXXII IAH Congress: 2025 - 2038. Mar del Plata.
- Laurencena, P., Varela, L., Kruse, E, Rojo, A. y Deluchi, M. 2002. Características de las variaciones freáticas en un área del noreste de la orProvincia de Buenos Aires. En Bocanegra, E., Martínez, D, y Massone, H. (eds.) Groundwater and Human Development, p.1334-1342, Mar del Plata.
- Laurencena, P., Kruse, E., Rojo, A , Deluchi, M. y E. Carol. Variaciones de niveles freáticos en la cuenca del Arroyo El Pescado (Provincia de Buenos Aires). XVI Congreso Geológico Argentino. Tomo III, P. 725-730. La Plata. Argentina. 2005
- Monteith, J.L. 1965. Evaporation and Environment. 19th Symposia of the Society for

Experimental Biology, University Press, 205 – 234. Cambridge

Sala JM, González N, Kruse E. (1983) Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires. In: Coloquio sobre Hidrología de Grandes Llanuras. II: 973-1009. PHI – UNESCO. Olavaria.

Thornthwaite, C.W. y Mather, J.R., 1955. Instruction and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. Climate Crewel Institute of Technology. 10(3).