

ESTIMACION DE LA HUMEDAD EDAFICA MEDIANTE DISTINTOS METODOS
DE BALANCE HIDROLOGICO DIARIO

Adrián Troha y Juan A. Forte Lay

Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM-CONICET)
Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

Se realizaron mediciones periódicas de humedad del suelo a distintas profundidades en dos localidades con suelos diferenciados, altamente representativos de una amplia área de la región pampeana. Las mismas se obtuvieron mediante metodología gravimétrica y sonda de neutrones, en suelos bajo pradera y cultivo desde Abril de 1982 hasta Abril de 1984.

Los resultados obtenidos fueron comparados con estimaciones realizadas mediante el empleo de balances hidrológicos diarios con un nivel de complejidad creciente. Estos son el balance de una capa; balance de dos capas; cuya primer capa es de espesor variable y desecamiento libre y el balance hidrológico versátil de Baier y Robertson (hasta 6 capas).

La bondad de cada método se evaluó mediante el análisis de regresión entre valores observados y estimados de humedad del suelo analizando los respectivos errores standard de estimación de la ordenada al origen y del coeficiente angular, así como el grado de bondad de ajuste para distintos niveles de confianza.

ABSTRACT

Periodic measurements of soil moisture at different depths were made at two sites highly representative of the pampean region but having well differentiated types of soil. These were made by gravimetric and neutronic sounding methods, in prairie and cultivated soils, from April 1982 to April 1984.

The measurements were compared with evaluations obtained by means of daily water balances with an increasing degree of complexity. These methods were: one layer balance; two-layer balance, in which the first layer had a variable depth and free drying conditions; and the versatile water balance by Baier and Robertson (up to six layers).

The goodness of each method was evaluated by means of regression analysis between the observed and estimated soil humidity values, analysing the respective standard errors of the ordinate to the origin and the angular coefficient estimations as well as the goodness of fitness for different confidence levels.

INTRODUCCION

El conocimiento de la variación del almacenaje de agua en el suelo y su relación con la producción vegetal es fundamental para poder manejar el recurso agua más eficientemente en áreas de secano.

Desde que Thornthwaite y Mather (1955) formularon sus metodologías de balance hidrológico del suelo en sus variantes mensuales y diarias, pasando por los modelos de Slatyer (1966), Baier y Roberson (1966), Linacre (1973) hasta llegar a Bronswijk (1988), son innumerables los modelos empíricos y semiempíricos de estimación del balance hidrológico que se han desarrollado en las últimas décadas, lo que es debido a que las mediciones directas de humedad en el suelo son escasas, discontinuas y de compleja obtención.

En el CIBIOM desde hace dos décadas se ha estado trabajando en métodos de estimación del agua edáfica sobre praderas permanentes (Burgos y Corsi, 1967; Burgos, 1969; Burgos y Forte Lay, 1983; Forte Lay y Burgos, 1983; Forte Lay y Villagra, 1983), y también sobre cultivos (Forte Lay y otros, 1987).

El objeto del presente trabajo fue el de analizar el comportamiento de tres modelos de estimación del almacenaje diario de agua en el suelo, de distinto grado de complejidad en relación a una serie de valores medidos a campo. Debe destacarse sin embargo, que el propósito del trabajo no fue el de tratar de ajustar algún método en particular a las series observadas, sino el de obtener el método más adecuado para su aplicación a escala mesoclimática, tanto para praderas permanentes como para cultivo.

MATERIALES Y METODO

Se analizaron mediciones periódicas de humedad edáfica cada 10 cm y hasta 1 m de profundidad en suelos bajo pradera y cultivos estacionales, por el método gravimétrico y mediante sonda de neutrones, entre Abril de 1982 y Abril de 1984, con una periodicidad aproximada de 15 a 20 días en los meses de verano y de 30 días en los meses de invierno. Las mismas se llevaron a cabo en dos localidades de la provincia de Buenos Aires: San Pedro, 33°50' S y 59°46' W, con suelo Argiudol vértico y Carlos Casares, 35°27' S y 61°14' W, con suelo Hapludol típico: ambos tipos de suelo son representativos de una gran extensión de la región pampeana.

Para el período analizado se contó con toda la información meteorológica necesaria para el cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Penman-Frere.

Sobre ambos suelos previamente se habían determinado las constantes hídricas; y posteriormente la profundidad y distribución del sistema radical activo para pradera y cultivo de maíz mediante el empleo de una metodología radioisotópica utilizando el ^{32}P como radiotrazador, lo que permitió cierto conoci-

miento sobre la modalidad del crecimiento radical y la extracción de agua y nutrientes por parte del mismo en las distintas fases de su desarrollo.

Se utilizaron diez curvas de retención de agua edáfica, entendiendo por tales las que vinculan la relación evapotranspiración real / evapotranspiración potencial como función del contenido de agua en el suelo, que indican la proporción del agua que cede el suelo ante determinada demanda potencial, a medida que disminuye su reserva de agua. Las mismas se pueden ver representadas gráficamente en la Figura 1.

Para el caso de la estimación del agua en el suelo en el cultivo de maíz en la localidad de San Pedro, se utilizó un factor de cultivo que estima la evapotranspiración potencial para el cultivo, a partir de la evapotranspiración potencial para pradera, y que fue obtenido en un trabajo anterior (Forte Lay y otros, 1987).

Por otra parte se calculó la precipitación efectiva en base a la estimación del escurrimiento superficial, de acuerdo a la fórmula propuesta por Linsley y otros (1949) que tiene en cuenta la precipitación diaria total y el contenido de humedad del suelo.

Se ensayaron tres modelos de balance hidrológico diario para estimar las variaciones de humedad edáfica. Los mismos, en orden de complejidad creciente son los siguientes:

Balance hidrológico de una capa: calcula el escurrimiento superficial, la precipitación efectiva se incorpora uniformemente en el perfil explorado, la extracción de agua se realiza en todo el perfil de acuerdo a la curva de retención elegida según el tipo de suelo, estima la evapotranspiración real y el drenaje profundo.

Balance hidrológico de dos capas: estima el escurrimiento superficial en base a la humedad inicial de la primera capa que además es de desecamiento libre (curva N°2). La precipitación efectiva se incorpora a la primera capa hasta llevarla a capacidad de campo, siendo el resto transferido a la segunda capa; esta última puede ceder agua según distintas curvas de retención de acuerdo al tipo de suelo, y la extracción de agua de la misma comienza una vez agotada el agua de la primera capa. La recarga de agua se realiza hasta alcanzar su capacidad de campo y el excedente se pierde como drenaje profundo.

Balance hidrológico versátil: utiliza hasta seis capas de suelo, las cuales están definidas por el contenido de ciertas proporciones fijas de la capacidad de agua del perfil, las cuales fueron establecidas por los autores; a partir de las mismas se calculan las profundidades y espesores de cada capa. La recarga de agua en cada una comienza a partir del momento en que se ha completado la de la capa superpuesta, y la extracción de agua se realiza simultáneamente en algunas o en todas las capas, lo cual está definido por el coefi-

ciente de extracción radical (variable para cada etapa fenológica). El escurrimiento superficial se obtiene en base a la humedad inicial de la primera capa y el drenaje profundo es el exceso que se obtiene cuando todas las capas están en capacidad de campo.

En cada capa, la metodología admite una curva de desecamiento distinta según las características del horizonte involucrado.

La bondad de cada método se evaluó mediante el análisis de regresión entre valores observados y estimados de humedad del suelo, teniendo en cuenta los respectivos errores estandar de estimación de la ordenada al origen y del coeficiente angular, así como el grado de bondad de ajuste para distintos niveles de confianza.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se han representado diez relaciones distintas entre la evapotranspiración relativa ($ETR \cdot 100 / ETP$) y el porcentaje de agua en el suelo (agua actual $\cdot 100 /$ capacidad de campo) las que corresponden a otros tantos suelos diferentes en textura y estructura de acuerdo a lo obtenido de la amplia bibliografía existente. Así en los suelos más arenosos la retención es nula (curva N° 2), o mínima cuando el suelo se encuentra cercano a su capacidad de campo, aumentando repentinamente cuando este tiende a agotar su existencia de agua (curvas N° 3 y N° 6). En los arcillosos en cambio suele recomendarse un tipo de curva como la N° 10 y la N° 8, en que la retención de agua comienza a hacerse notable apenas el suelo comienza a secarse. Las restantes curvas suelen ser más adecuadas para representar la retención de suelos de textura media (incluyendo la relación lineal N° 1 ampliamente utilizada por su simplicidad de uso).

Para comparar los resultados obtenidos de la aplicación de los tres métodos de balance mencionados y su habilidad para estimar las variaciones del almacenaje de agua del total del perfil, se realizó la correlación y regresión entre los valores observados y estimados de la humedad del suelo.

En la Figura 2A se observa la recta de regresión lineal entre valores observados y estimados de la humedad edáfica para un suelo franco-arenoso bajo pradera del Partido de Carlos Casares para los tres modelos de estimación estudiados, realizados utilizando la curva de retención N° 1 para los métodos de balance de una y dos capas y la N° 3 para el balance hidrológico versátil, que fueron las que mejor ajustaron en cada caso, lo que se verificó mediante un ensayo estadístico en que se probó la hipótesis a (ordenada al origen) = 0 contra la alternativa a $\neq 0$ y la hipótesis b (coeficiente angular) = 1 contra su alternativa b $\neq 1$.

Los valores estudiados para cada hipótesis se obtuvieron de la recta de regresión ideal con pendiente de 45° y donde a = 0 y b = 1.

Se utilizaron los niveles de confianza $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$. En todos los casos las diferencias no fueron significativas. El coeficiente de correlación fue muy bueno, superior a 0.86 en todos los casos, y el error standard de estimación fue de aproximadamente 10% en promedio, siendo máximo en el balance hidrológico de dos capas.

La Figura 2 B corresponde a las relaciones entre valores observados y estimados de reserva de agua para un suelo arcilloso bajo pradera del partido de San Pedro, donde la curva de retención N° 10 resultó ser la mejor en los tres modelos de balance. Las diferencias respecto a la recta de ajuste ideal son no significativas para la ordenada al origen y el coeficiente angular para los métodos de balance de una capa y versátil, y muy significativas para el balance hidrológico de dos capas, el cual incurre en sobreestimación cuando el suelo se encuentra cercano a su capacidad máxima de retención y gran subestimación cuando el suelo se va desecando. Para las metodologías de una capa y versátil, los coeficientes de correlación resultaron superiores a 0.90 y los errores standard de estimación inferiores al 5%.

En la Figura 2 C se grafican las mismas relaciones para el suelo arcilloso anteriormente citado pero sometido a cultivo de maíz y práctica de barbecho alternativamente, también en este caso la curva de retención N° 10 resultó la de mejor ajuste en los tres modelos analizados. Las diferencias con respecto a la recta de ajuste ideal son para el coeficiente angular no significativas en los tres casos, mientras que para la ordenada al origen resultan no significativas para los métodos de una capa y versátil y significativa para el de dos capas, el cual subestima en todos los casos. Para las dos metodologías restantes, el coeficiente de correlación resultó superior a 0.95 y el error standard de estimación menor al 7%.

De acuerdo a lo expuesto hasta aquí se puede deducir que la metodología de balance hídrico de dos capas no ha dado buenos resultados, mientras que el balance versátil de seis capas no ofrece ventajas para la estimación del total de agua del perfil con respecto al de una capa; por lo que para estimaciones del agua edáfica a nivel de mesoescala, se puede recomendar la aplicación de este último por resultar de cálculo más sencillo. Debe destacarse que el comportamiento del balance versátil puede ser mejorado notablemente mediante la utilización de factores de distribución radical y coeficientes de cultivo adecuados para cada suelo específico, convirtiéndose en una metodología idónea para la estimación de la dinámica del agua edáfica a nivel de microescala.

En la Figura 3 se visualizan los valores diarios observados y estimados según el balance hidrológico de una capa para todos los casos estudiados, donde se confirma la idoneidad de este método como estimador del total de humedad del perfil. Es de hacer notar que para el suelo del partido de Carlos Casares durante el pe-

Periodo de Diciembre de 1933 hasta comienzos de Febrero de 1984, se observaron valores de humedad en el suelo superiores a su capacidad de campo debido a las frecuentes e intensas lluvias que sobresaturaron el perfil, lo cual no es previsto por ninguna de las metodologías descriptas y de allí su mal ajuste en esas situaciones.

CONCLUSIONES

1.- Los resultados expuestos tienen solamente el propósito de facilitar la elección de una metodología idónea de balance hídrico diario para estudios a nivel mesoclimático.

2.- El balance hidrológico de dos capas, sin retención en la primera de ellas no se comportó adecuadamente, ya sea por la dispersión de las estimaciones como por el hecho de incurrir en errores de sobreestimación o subestimación pronunciados, tal como se demuestra con los test de hipótesis de la ordenada al origen y del coeficiente angular.

3.- Los métodos de balance de una y seis capas tuvieron un comportamiento relativamente similar para la estimación del total de agua del perfil, por lo que se recomienda la utilización del primero de ellos por su mayor simplicidad.

4.- El método de Baier y Roberson de seis capas admite un mayor perfeccionamiento mediante la determinación puntual de los distintos coeficientes de suelo y cultivo, lo que sumado a la posibilidad de elección de diferentes curvas de desecamiento para cada una de las capas de suelo permite la estimación de un perfil hídrico detallado, lo que lo convierte en la metodología más idónea para estudios de la dinámica del agua edáfica a nivel de microescala.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Baier, W. y Roberson, G.W. 1966. A new versatile soil moisture budget. Can. J. Plant. Sci. 46:299-315.
- 2) Bronswijk, J.J.B. 1988. Modeling of water balance, cracking and subsidence of clay soils. J. of Hydrology. 97:199-212.
- 3) Burgos, J.J. y Corsi, W. 1967. Verificación de métodos de simulación de la marcha del almacenaje de agua en el suelo en clima pampeano subhúmedo. Actas de la VII Conferencia de la ALAF. Bogotá. Colombia.
- 4) Burgos, J.J. 1969. El clima de la provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo. INTA (suelos), publ N° 128. Buenos Aires.
- 5) Burgos, J.J. y Forte Lay, J.A. 1983. Capacidad de almacenaje de agua en los suelos de la región pampeana. Actas del Taller Argentino-Estadounidense so-

- bre sequías (CONICET-NSF). pag 122-143. Buenos Aires. Argentina.
- 6) Forte Lay, J.A. y Burgos, J.J. 1983. Verificación de métodos de estimación de la variación del almacenaje de agua en suelos pampeanos. Actas del Taller Argentino-Estadounidense sobre sequías (CONICET-NSF). pág.162-180. Buenos Aires Argentina.
 - 7) Forte Lay, J.A. y Villagra, M.M. 1983. El balance hidrológico de Thornthwaite Mather (1955) aplicado bajo diferentes unidades de tiempo. Verificación con valores observados y comparación de resultados. Actas del XI Congreso Nacional del Agua. Tomo I, Aguas superficiales I, pág. 89-119. Córdoba. Argentina.
 - 8) Forte Lay, J.A.; Troha, A. y Villagra, M.M. 1985. Estudio de las variaciones del agua edáfica en pradera permanente, barbecho y cultivos estacionales. Actas de la III Reunión Argentina de Agrometeorología (AADA). pág. 47-53. Córdoba. Argentina. y Actas del XII Congreso Nacional del agua, vol. agroecología. tomo IIa pág. 181-202. Mendoza. Argentina.
 - 9) Linacre, E.T. 1973. A simpler empirical expression for actual evapotranspiration rates. A discussion and reply. Agricultural Meteorology. Vol 11(3): 451-453.
 - 10) Linsley, R.K.; Kohler, M.A. y Paulhus, J.E.H. 1949. Applied Hydrology. McGraw Hill Book Co. Inc. New York.
 - 11) Slatyer, R.O. 1966. The use of soil water balance. Relationships and Agrometeorology. UNESCO. Symposium on methods in Agroclimatology. Reading paper C - 8, 18p.
 - 12) Thornthwaite, C.W. y Mather, J.R. 1955. The water balance. Publications in Climatology. VIII (I) 104 pp. Drexel Inst. of Tech. New Jersey.

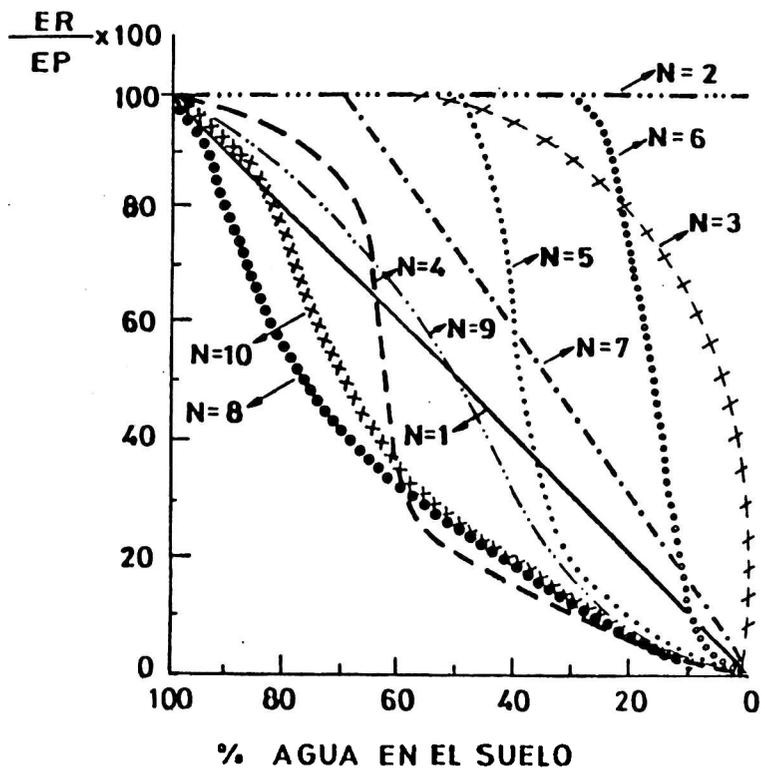


Figura 1. Relaciones entre la evaporación relativa ($ER \cdot 100 / EP$) y el porcentaje de agua en el suelo (agua actual $\cdot 100 /$ capacidad de campo) para suelos con distinta textura y estructura.

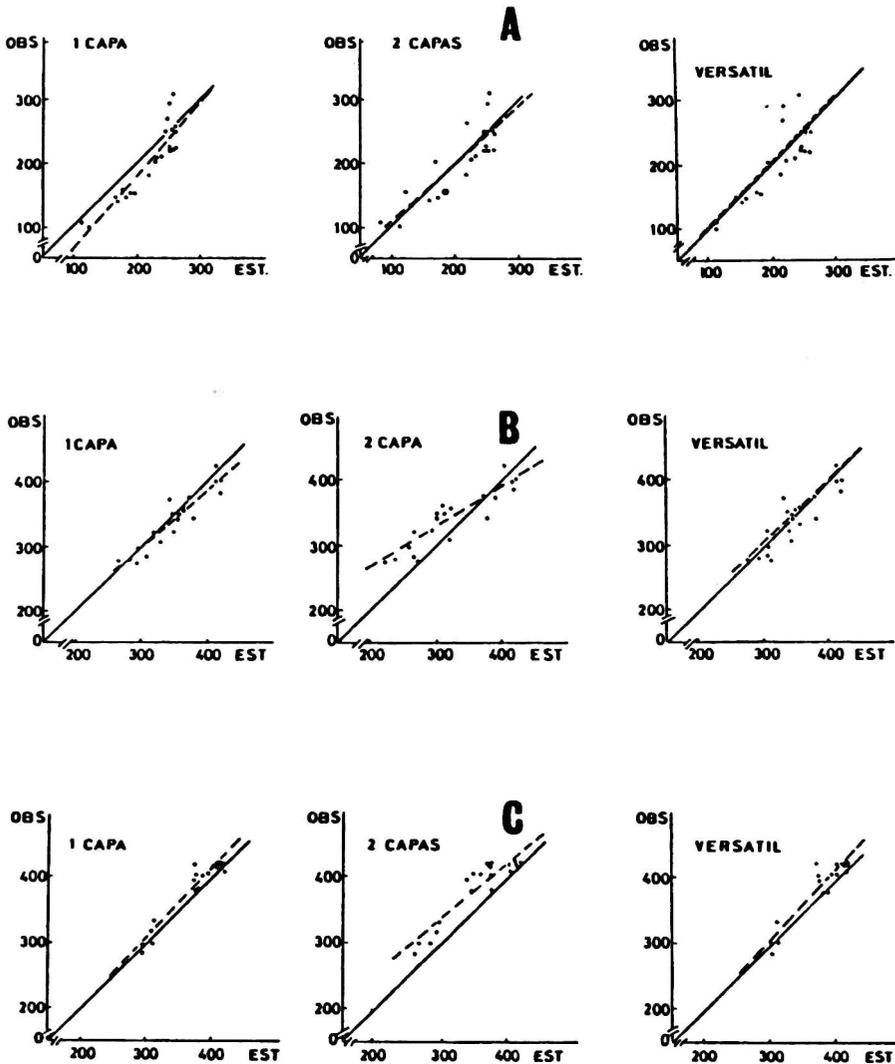


Figura 2. Recta de regresión lineal entre valores observados y estimados de la humedad edáfica para las tres metodologías de balance hidrológico utilizadas.

- A: pradera sobre suelo franco-arenoso (Pdo de C. Casares)
- B: pradera sobre suelo arcilloso (Pdo de San Pedro)
- C: maíz sobre suelo arcilloso (Pdo de San Pedro)

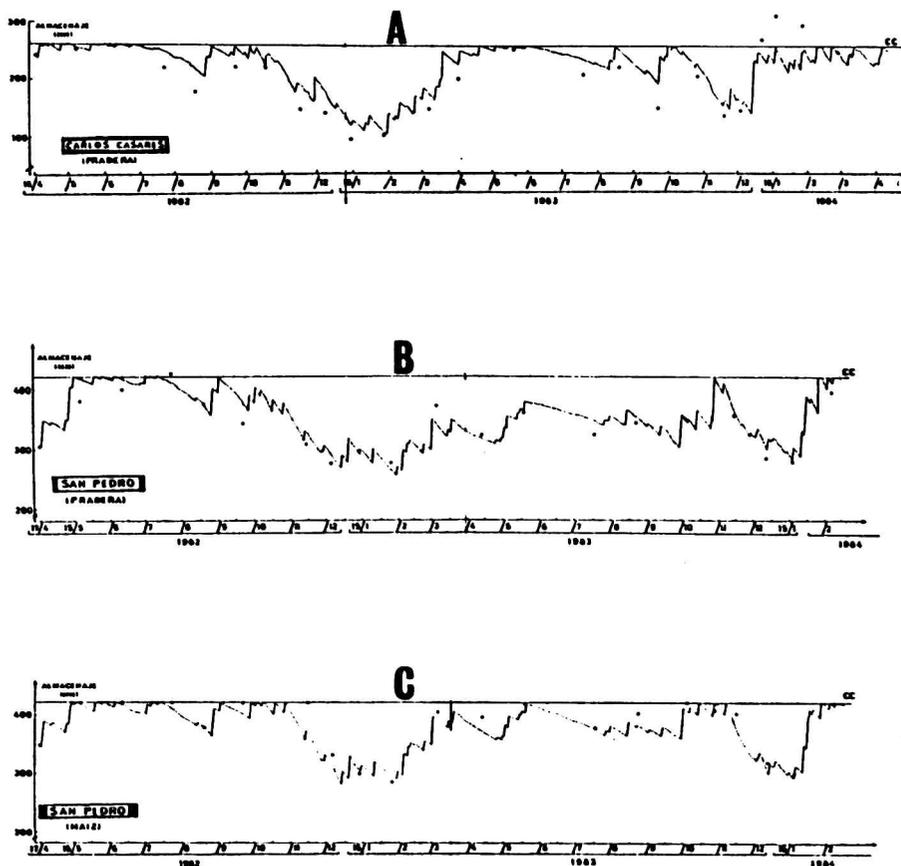


Figura 3. Valores observados y estimados según el balance hidrológico de una capa para:

- A: pradera en el Pdo de C. Casares
- B: pradera en el Pdo de San Pedro
- C: maíz en el Pdo de San Pedro