Bioagro 15(3): 209-215. 2003

RELACIONES ENTRE DEFICIENCIAS Y EXCEDENTES HÍDRICOS ESTIMADOS A PARTIR DE LOS BALANCES HÍDRICOS NORMAL Y SECUENCIAL

Beatriz I. Lozada[1] y Paulo C. Sentelhas[2]

RESUMEN

El balance hídrico climático, estimado con valores normales o promedios de evapotranspiración potencial y precipitación, no considera la variabilidad interanual de esos elementos, por lo que la ocurrencia de eventuales déficits en regiones húmedas o excesos en zonas áridas o semiáridas, no serían identificados por este tipo de balance. En este estudio se determinaron las posibles variaciones y la relación existente entre los déficits y excesos hídricos obtenidos con el balance hídrico normal y secuencial. El estudio se realizó para siete localidades de Venezuela, con registros que variaron de 21 a 53 años, usando el método de Thornthwaite y Mather. Los resultados mostraron que el balance hídrico normal subestimó los déficits y excesos en casi todos los casos. La mayoría de las localidades presentaron déficits menores o próximos a un 25% de probabilidad, y los excesos estuvieron entre 25% y 50%. Los déficits y excesos promedios obtenidos con el balance hídrico secuencial son próximos o superiores al 50% de probabilidad de la estimación, mostrando una mejor representación de la realidad. Con estos resultados se establecieron las relaciones entre los valores de los dos balances, encontrándose un r^2 de 0,986** para el déficit y 0,947** para el exceso.
Palabras clave adicionales: Clima, hidrología, variabilidad interanual, Thornthwaite y Mather

ABSTRACT

Relationships between water deficits and water surplus estimated by the normal and serial climatic water balance

The climatic water balance, estimated with normal or average potential evapotranspiration and rainfall data, does not consider the inter-annual variability of these parameters, then eventually water deficits and water surplus could not be detected respectively in humid and dry climates when this method is used. In this study, it was determined the possible variation and the relationship between water deficits and water surplus estimated by the normal and serial climatic water balance. Climatic data from seven localities in Venezuela were used, ranging the records from 21 to 53 years. The water balance was estimated by Thornthwaite and Mather method. The results showed that most of the water deficits and water surplus values were underestimated when normal water balance was used. In this case, the water deficits values were lower than 25% of probability and the water surplus were between 25% and 50% of probability. When the averages of water deficits and water surplus were determined by the serial climatic water balance they were near or higher than 50% of probability, showing a better estimation of the actual conditions. These results were used to establish the relationship between the variables estimated by both methods (normal and serial water balance) being found a very good fit: $r^2 = 0.986$** for water deficits and $r^2 = 0.947$** for water surplus.
Additional key words: Climate, hydrology, inter-annual variability, Thornthwaite and Mather

INTRODUCCIÓN

El balance hídrico climatológico (BHC) es la contabilización del agua del suelo, resultante del principio de conservación de la materia en un determinado volumen de suelo con vegetación, y representa el balance entre el agua que entró y la que salió de dicho ámbito (Pereira et al., 2002). Este puede ser calculado con valores medios o normales climatológicos y se le denomina BHC normal, o con valores secuenciales a lo largo de uno o varios años, denominado BHC secuencial o seriado.

Los estudios de zonificación agroclimática, la influencia de la deficiencia hídrica en la productividad de los cultivos (Calvache et al., 1997), las comparaciones entre condiciones hídricas de localidades distintas (Silva y Adelmo,

Recibido: Febrero 7, 2003 Aceptado: Septiembre 29, 2003
[1] Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA-Táchira. Carretera vía Delicias, Bramón, Edo. Táchira, Venezuela. email: beatrizloz@hotmail.com
[2] Dpto. de Ciências Exatas, Universidade Sao Paolo, Av. Pádua Diaz, 11, Piracicaba, SP, Brasil. email: pcsentel@esalq.usp.br

2001), la caracterización de sequías y determinación de las mejores épocas de siembra (Pereira et al., 2002) y el diseño e implementación de sistemas de riego y drenaje, entre otros, son usualmente basados en cálculos del BHC normal. Esto permite identificar regiones húmedas donde los excedentes ocurren durante todo el año, regiones semiáridas o áridas donde las deficiencias son las que prevalecen y aquellas regiones con deficiencias durante una época del año y excedentes en la otra (Litwin, 1997). Sin embargo, es conocido que este procedimiento no considera la variabilidad interanual del clima, específicamente de la precipitación, por lo que la ocurrencia de eventuales déficits en regiones húmedas o excesos en regiones áridas o semiáridas, así como la variación de la magnitud de los mismos en años muy húmedos o muy secos, no serían identificados por este tipo de balance. Por su parte, el BHC secuencial permite el monitoreo en tiempo real de las condiciones hídricas del suelo para cada período de análisis. En ese sentido, Pascale y Damario (1977) señalan que el balance hidrológico climático es insuficiente cuando se requiere conocer las probabilidades de ocurrencias de déficits o excesos de una determinada región, sugiriendo como solución el uso del balance hidrológico seriado.

Partiendo de estas consideraciones se puede esperar que los valores de déficits y excesos estimados a partir del balance hídrico climático normal difieran de los valores medios obtenidos con el balance hídrico climático secuencial, donde la variabilidad interanual estaría siendo considerada (Almeida, 1998; Lozada y Sentelhas, 2002). El objetivo de este estudio fue establecer las posibles relaciones entre los valores de los déficits y excesos hídricos estimados a partir de los balances hídricos climáticos normales y secuenciales, para localidades de diferentes condiciones climáticas de la región centro-occidental de Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se consideraron las siguientes siete localidades, las cuales se encuentran distribuidas en la región centro-occidental de Venezuela: Bramón, Calabozo (Est. Exp. BS Pedro), Maracay (Est. Exp. CENIAP), Mucuchíes, Ocumare de la Costa (O. Costa), Sanare y Yaritagua.

Se usaron datos de temperatura media mensual y precipitación mensual registrados en las estaciones climatológicas (Cuadro 1), pertenecientes al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), considerando períodos de registros que variaron de 21 a 53 años. Sólo en tres localidades no se dispuso de registros de 30 o más años para el cálculo del balance hídrico climático normal tal como lo sugiere la Organización Meteorológica Mundial.

Los valores de temperatura se usaron para estimar la evapotranspiración potencial (ETP) a través del método de Thornthwaite (1948) mediante las siguientes ecuaciones:

$$ETP = 16\left(10\frac{Ti}{I}\right)^{a} \qquad Ti > 0°C$$

$$a = 6{,}75\cdot10^{-7}I^3 - 7{,}71\cdot10^{-5}I^2 + 1{,}7912\cdot10^{-2}I + 0{,}49239$$

$$I = \sum_{i=1}^{12}\left(0{,}2Ti\right)^{1{,}514} \qquad Ti > 0°C$$

Cuadro 1. Ubicación y valores de precipitación de las estaciones climatológicas

Estaciones	Período (años)	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (msnm)	Precipitación media (mm)	Precipitación máxima (mm)/ Año	Precipitación mínima (mm)/ Año
Bramón	1941-93	7°39’	72°24’	1105	1273,2	1855,7/ 1985	816,1/ 1993
BSPedro	1973-93	8°45’	67°32’	100	1313,8	2151,2/ -	882,8/ -
CENIAP	1959-93	10°17’	67°37’	455	961,4	1541,0/ 1981	207,3/ -
Mucuchíes	1972-93	8°46’	70°54’	3100	660,9	947,1/ 1954	404,6/ 1992
O. Costa	1964-97	10°28’	67°46’	15	764,8	1059,6/ -	456,3/ 1974
Sanare	1965-92	9°44’	69°39’	1350	794,9	1127,9/ -	535,0/ 1989
Yaritagua	1959-93	10°04’	69°17’	375	956,7	1376,1/ 1970	616,7/ 1989

Los balances hídricos se estimaron mediante el método de Thornthwaite y Mather (1955). Este método permite monitorear el almacenamiento de agua en el suelo, reflejando el balance entre las entradas y salidas de un volumen de control. Para esto se consideró a la lluvia (P) como la única entrada, a la ETP como la salida debida a la demanda atmósferica y la capacidad de agua disponible (CAD) como la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. Mediante este método es posible estimar la evapotranspiración real (ETR), el déficit (DEF), el exceso (EXC) y el almacenamiento de agua en el suelo (Pereira et al., 1997).

La variación del almacenamiento se estimó a través de la alteración (ALT) del contenido de agua en el suelo, mediante la ecuación siguiente:

$$\pm ALT = P - ETR - EXC$$

Todos los cálculos fueron realizados usando las planillas de Excel diseñadas por Rolim et al. (1998), para la estimación de los balances hídricos normales y secuenciales. Como precipitación efectiva fue considerada el 100% del total y un CAD de 100 mm.

Se determinaron las diferencias al comparar los valores de los déficits y excesos obtenidos con el balance hídrico climático normal (BHCNOR) y los valores medios resultantes del balance hídrico climático secuencial (BHCSEC). A partir de estos valores se realizó un análisis de regresión entre los déficits del BHCNOR y BHCSEC; igualmente en el caso de los excesos. También fueron comparados los valores de déficit y exceso del BHCNOR con las probabilidades empíricas de 75, 50 y 25 %, de los déficits y excesos obtenidos del BHCSEC (Assis et al., 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de déficit y exceso obtenidos a partir del BHC normal difieren de los resultantes del BHC secuencial (Cuadro 2), observándose en ambos casos, que estos son subestimados por el BHC normal, lo cual coincide con lo encontrado por Almeida (1998) y Lozada y Sentelhas (2002), con la excepción de la localidad de O. Costa, en la cual el déficit estimado a partir del BHC normal se puede considerar igual al obtenido con el BHC secuencial, debido a que la diferencia fue de escasamente de -1,6 mm (es decir, -0,2%). Comparando los déficits del BHC normal con las probabilidades de ocurrencia estimadas a partir del BHC secuencial (Cuadro 3), se aprecia que para las localidades de Bramón, CENIAP, Sanare y BS Pedro, éstos son inferiores al valor de un 25%, y para las localidades de Mucuchíes y Yaritagua, los valores se encuentran entre el 25 y 50%. En O. Costa está entre 50 y 75 %, siendo en este caso valores más ajustados a la realidad.

En el caso de los excesos (Cuadro 4) se observa que estos son superiores al valor del 25% de probabilidad con la excepción del CENIAP donde es menor, y todos son menores al 50%. Por otro lado, los valores de déficit y excesos resultantes del balance hídrico secuencial son próximos o superiores al 50% de probabilidad, mostrando una mejor representación de la realidad.

Esto demuestra que cuando es usado el BHC normal no estaría siendo representado el 50% de ocurrencia de estas variables, por tanto se puede incurrir en imprecisiones en el momento de su uso con fines de planificación o en la zonificación agrícola.

Cuadro 2. Déficits y excesos hídricos (mm) estimados con el BHCNOR y SEC de las localidades en estudio

Estaciones	Déficit			Exceso		
	BHCNOR	BHCSEC	Diferencia %	BHCNOR	BHCSEC	Diferencia %
Bramón	10,0	67,4	85,2	356,7	417,9	14,6
BS Pedro	679,4	768,8	11,6	271,7	322,8	15,8
CENIAP	403,5	482,6	16,4	4,5	97,1	95,4
Mucuchíes	71,0	95,5	25,6	120,2	143,2	16,1
O.Costa	730,3	728,7	0,2	0,0	5,0	100,0
Sanare	85,5	189,5	54,9	0,0	98,1	100,0
Yaritagua	586,5	653,3	10,2	14,9	82,7	82,0

Las diferencias porcentuales entre los valores de los déficit oscilan de 0,2% a 85,2 % y para los excesos, estos están en el orden de 14,6% a 100%.

Cuadro 3. Déficits hídricos (mm) que ocurren a diferentes niveles de probabilidad para las localidades en estudio

	Probabilidad (%)		
	75	50	25
Bramón	93,5	52,3	19,2
BS Pedro	836,7	801,8	702,0
CENIAP	539,9	489,4	415,2
Mucuchíes	132,4	98,2	61,7
O. Costa	811,3	693,3	601,9
Sanare	240,7	161,4	120,2
Yaritagua	731,6	660,0	519,5

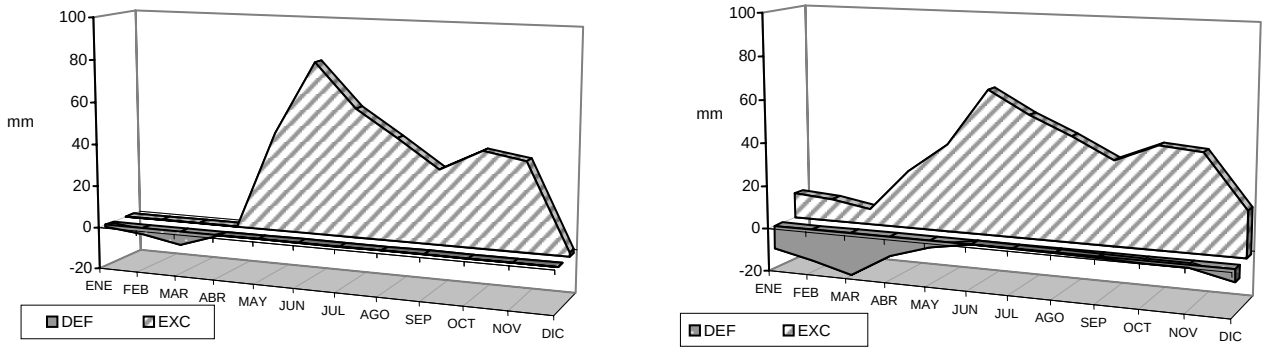
Las localidades en estudio pueden ser agrupadas en húmedas, secas o estacionales, siendo la húmeda caracterizada por presentar principalmente excesos a lo largo del año, la seca, en la cual no se observan excesos y en caso de existir son bastante pequeños, y la estacional, donde se presentan aproximadamente 6 meses con excesos y 6 meses con déficits. Se observa que la variación de los déficits y excesos a lo largo del año para cada uno de los grupos mencionados se presenta de manera diferente en cada caso:

- Húmeda, grupo representado por la localidad de Bramón (Figura 1), donde la variación se presenta principalmente en los meses de enero, febrero, marzo y parte de abril, que son los meses normalmente secos del año y con mayor variación interanual de la precipitación. El BHC normal subestima déficits y excesos durante la estación seca.
- Seca, que incluye las localidades de CENIAP, Sanare, O. Costa y Yaritagua (Figura 2). En este caso las variaciones de los déficits y excesos ocurren en aquel período del año en el cual se espera una condición sin déficit o excesos, o con pequeños excesos, observándose que el BHC normal llega a subestimar hasta en un 100% los valores de los excesos, aun cuando en términos de lámina estos valores son pequeños. Por otro lado, en condiciones extremadamente secas (O. Costa) los valores del BHC normal son semejantes a aquellas estimadas con el BHC secuencial.

Cuadro 4. Excesos hídricos (mm) que ocurren a diferentes niveles de probabilidad para las localidades en estudio

	Probabilidad (%)		
	75	50	25
Bramón	502,6	390,8	291,8
BS Pedro	469,3	359,8	201,4
CENIAP	141,1	72,5	8,8
Mucuchíes	216,1	158,8	60,4
O. Costa	0,0	0,0	0,0
Sanare	140,8	102,7	0,0
Yaritagua	125,4	35,4	0,0

- Estacional, que correspondería al grupo de las localidades de Mucuchíes y BS (Figura 3). Pedro, donde se aprecia un incremento en los déficits y excesos principalmente en los meses de inicio y final del período húmedo así como una disminución en los excesos durante ese período, manteniéndose la tendencia del BHC NOR de subestimar tanto déficits como excesos.



(a) (b)

Figura 1. Extractos de los BHC normal (a) y BHC secuencial (b) para la localidad de Bramón

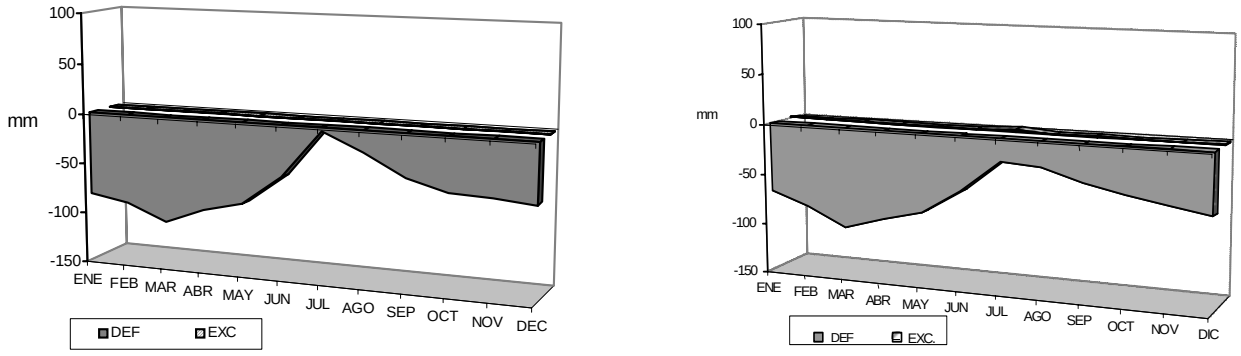


Figura 2. Extractos de los BHC normal (a) y BHC secuencial (b) para la localidad de O. Costa

Estos resultados confirman que en aquellas condiciones hídricas donde ocurren eventuales déficits o excesos no esperados, estos no son detectados por el BHC normal, incurriéndose principalmente en subestimaciones de estas variables. Esto se puede atribuir al uso de valores promedios, principalmente de la precipitación, elemento que presenta la mayor variabilidad interanual en las condiciones tropicales. Como ya fue señalado por Silva y Aldemo (2001) los resultados del BHC normal constituyen una media temporal, por lo tanto no reflejan de manera confiable el balance hídrico real esperado para un año particular. En este sentido, Litwin (1997) señala que los BHC secuenciales permiten poner en evidencia excesos o déficits circunstanciales, en áreas donde predominan los déficit o excesos, respectivamente. Por su parte, Pascale et al. (1977) concluyeron que este tipo de balance permite conocer la variación interanual de los déficit y excesos, sus frecuencias y probabilidades. De esta forma se coloca en evidencia la influencia que la variabilidad interanual del clima puede ejercer en la caracterización climática de una localidad o región.

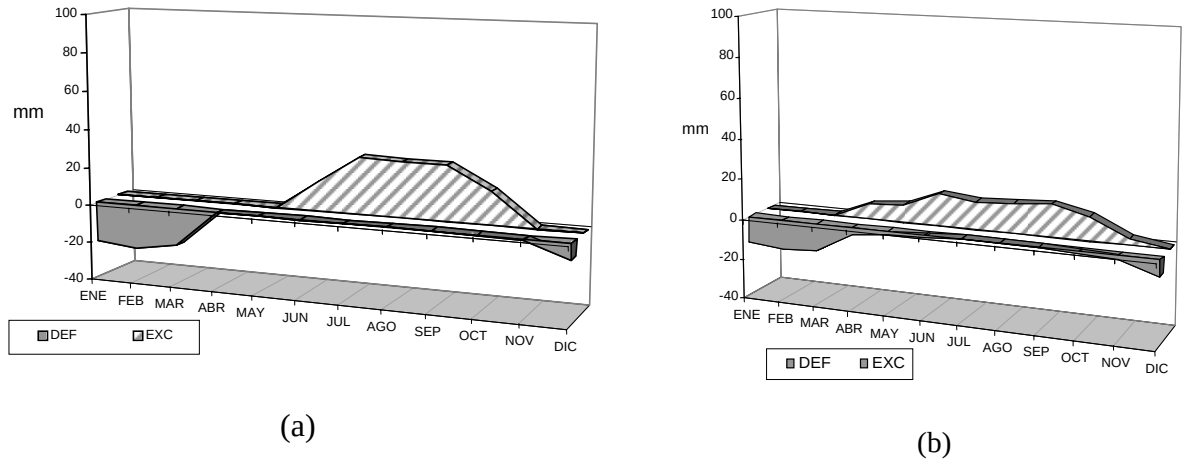


Figura 3. Extractos de los BHC normal (a) y BHC secuencial (b) para la localidad de Mucuchíes

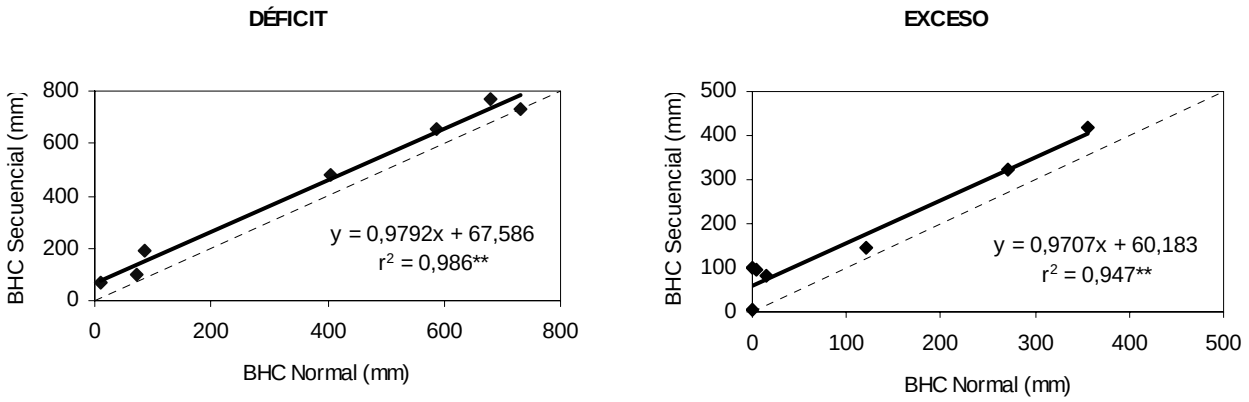


Figura 4. Relaciones entre los déficits y excesos hídricos estimados por los BHC normal y secuencial

Los resultados del análisis de regresión presentados en la Figura 4 muestran la estrecha relación y el alto grado de ajuste que existe entre los valores de déficit y exceso hídrico estimados por el BHC normal y el BHC secuencial, con altos y significativos valores del coeficiente de determinación (r^2). Esto permite sugerir el uso de estas ecuaciones para ajustar los valores de déficits y excesos resultantes de los BHC normales, con el interés de reducir las imprecisiones en el momento de su uso con fines de planificación, zonificación y caracterización del régimen hídrico de una localidad.

CONCLUSIONES

El BHC normal subestimó tanto los déficits como excesos en relación con el balance hídrico secuencial en la gran mayoría de localidades en estudio.

La variación de los déficits y excesos estimados con el BHC normal en relación con los calculados por el BHC secuencial ocurrió de manera diferente, en función de las características hídricas de cada localidad de acuerdo al siguiente esquema:

- Húmedas: Las variaciones se presentan en los períodos normalmente secos y de mayor variabilidad de la precipitación.
- Secas: Los períodos donde no se espera la ocurrencia de déficit o excesos, y presentan las mayores variaciones de déficits y excesos.
- Estacional: En este caso son afectados los meses de entrada y salida del período húmedo, y por lo tanto, la duración del mismo.

Los déficits y excesos hídricos estimados a partir del BHC secuencial estuvieron próximos o superiores al 50% de probabilidad, mostrando una mejor representación de la realidad.

Los valores de déficit y exceso estimados con el BHC normal para estas localidades podrían ser ajustados a partir de las ecuaciones de regresión obtenidas en este estudio.

LITERATURA CITADA

1. Almeida, J. P. de. 1998. Estudio comparativo entre modelos de balanço hídrico para regiões de clima úmido. Engenheria Agricola 17 (3): 46-59.

2. Assis N. F., H. V. Arruda y A. R. Perreira. 1996. Alicações de Estadística à Climatologia. Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 161 p.

3. Calvache, M., K. Reichardt y O. Bacchi. 1997. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. Imbabello. X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Piracicaba. Anais. Piracicaba. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/SBA. pp. 668-670.

4. Litwin, C. L. 1997. Una forma condensada para expresar el balance hídrico seriado. El predominio trimestral de los excesos. 7ª Reunión Argentina y 1º Latinoamericana de Agrometeorología. Universidad de Buenos Aires, Asociación Argentina de

Agrometeorología, Buenos Aires. S IV. pp. 41-42.

5. Lozada, B.I. y P.C. Sentelhas. 2002. Diferencias entre las deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir del balance hídrico normal y secuencial. IX Reunión Argentina de Agrometeorología. Córdoba. pp. 157-158.

6. Pascale, A. J. y E. A. Damario. 1977. El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. LIII (1-2): 15-34.

7. Pereira, A. R., L. R. Angelocci y P.C. Sentelhas. 2002. Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas. Editora Agropecuária.

8. Pereira, A. P., N. A. Vila Nova y G. Ch. Sediyama. 1997. Evapo transpiração. Fealq, Piracicaba. 183 p.

9. Rolim G., P. C. Sentelhas y V. Barbieri. 1998. Planilhas no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia 6(1): 133-137.

10. Silva V. y M. Aldemo. 2001. Meteorologia e Climatologia. Gráfica e Editora Pax. Brasilia.

11. Thornthwaite, C. W. y J. R. Mather. 1955. The water balance. Publication in Climatology. Drexel Institute of Techonology, New Jersey 104 p.

12. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classication of climate. Geogr. Review 38: 55-94.