

I INTRODUCCION	93
II. MATERIAL Y MÉTODOS	94
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	96
IV CONCLUSIONES	103
V. RESUMEN Y SUMMARY	104
VI BIBLIOGRAFÍA	105

EL BALANCE HIDROLOGICO NORMAL DE MANFREDI. CORDOBA, ARGENTINA ¹

A R. RODRÍGUEZ, R. J. NOVO, J. C. CAÑADELL y J. C. AVALTRONI ²

I. INTRODUCCION

El balance hidrológico es la relación, como en todo balance, entre las pérdidas y ganancias de agua en el suelo.

Las ganancias están representadas principalmente por la precipitación, y las pérdidas por el proceso de evapotranspiración.

Generalmente, la precipitación representa la casi totalidad del aporte hídrico al suelo. El movimiento del agua en estado de vapor producido por diferencias de potencial y la condensación del vapor acuoso en la capa del suelo que exploran las raíces, es de poca importancia práctica. El ascenso de agua por capilaridad, dada la distancia de la capa freática en el área de estudio, no se considera como aporte hídrico de alguna importancia (Grassi, 1968).

El conocimiento del balance hidrológico de una localidad, permite establecer la *necesidad* de agua en la zona, los *excesos*, las *deficiencias* y la *época* en que se producen. Es, además, imprescindible para todo estudio de las sequías.

¹ Trabajo realizado en la cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

² Ings. Prof. Tit. y Jefes de Trabajos Prácticos, respectivamente de la cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

Para realizar el balance hidrológico, es necesario conocer la precipitación y la evapotranspiración potencial del lugar. La precipitación es un fenómeno esporádico; la evapotranspiración es un fenómeno continuo, de modo que la marcha de ambos puede no coincidir, como sucede generalmente, dando lugar a períodos con exceso o déficit de agua en el suelo.

El método de *Thornthwaite* (1967) es el utilizado en el cálculo de la evapotranspiración potencial por la facilidad de obtención de los datos que emplea. Para zonas áridas y semiáridas se considera que da valores inferiores a los reales.

Finalmente, deben conocerse las propiedades físicas del suelo, tales como textura, capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente, densidad aparente y la profundidad de exploración y hábitos radiculares de los cultivos, con el objeto de determinar la capacidad de retención de agua en el suelo.

II. MATERIAL Y METODOS

El balance hidrológico de Manfredi se llevó a cabo sobre un período de 41 años, desde 1934 hasta 1974, con datos registrales en la E.E.A. Manfredi (Lat: 31°49'12" S; Long: 63°46'00" W).

Se trabajó para realizar el balance hidrológico normal, con datos de temperatura y precipitación normales del período considerado. Para el cálculo del balance hidrológico mensual seriado, se utilizaron datos mensuales de precipitación y temperatura (Grassi, 1968).

La evapotranspiración potencial se estimó mediante el método de *Thornthwaite* (1957). Los datos de capacidad de campo (C. C.) punto de marchitamiento permanente (P.M.P.) y densidad aparente (D.A.), fueron calculados en el laboratorio de suelos de la E.E.A. Manfredi.

La capacidad de retención de agua se calculó con la fórmula:

$$\text{Cap. de Ret. (mm)} = \text{C.C.} \times \text{D.A.} \times h \times 10$$

siendo *h* la profundidad o espesor de cada horizonte.

La capacidad de retención en punto de marchitez permanente y agua útil, se calcularon con las fórmulas:

$$\text{Cap. de Ret. en P.M.P. (mm)} = \text{P.M.P.} \times \text{D.A.} \times h \times 10$$

$$\text{Agua útil} = \text{Cap. de Ret. a C.C.} - \text{Cap. de Ret. a P.M.P.}$$

CUADRO N^o 1. Características edáficas de Manfredi

Prof. (cm)	C.C.(%)(1)	Prof.(cm)	P.M.P (%) (2)	Prof.(cm)	D.A.
0 - 20	25	0 - 20	11	0 - 20	1.2
20 - 40	26	>de 20	10	20 - 40	1.3
40 - 60	23			> de 40	1.2
60 - 80	22				
80 - 100	21				

¹ % de agua retenida sobre suelo seco al aplicar una tensión de 1/3 de atmósfera.

² % de agua retenida sobre suelo seco al aplicar una tensión de 15 atmósferas.

(Valores promedios de un lote de la E.E.A. Manfredi, INTA)

0	Ap	TEXTURA: Franco - limoso CULTIVO : Maní PROF.MAX. DE RAICES: 0.80 mts.		
21 cm	AC		Profundidad	0.80 m 1.00 m
46 cm	Cca		Cap. de Retención en C.C. (mm)	235.6 285.8
			Cap. de Retención en P.M.P.(mm)	100.4 124.4
			Agua útil (mm)	135.2 161.4

De acuerdo con las características anteriores y siguiendo los lineamientos del método se resolvió utilizar la tabla de retención de *Thornthwaite* de 200 mm.

Para el cálculo del balance hidrológico normal, se estimó la evapotranspiración potencial ajustada por el método de *Thornthwaite* (1955) en base a las temperaturas medias normales calculadas para el período 1934-1974.

Se consideraron también, las precipitaciones medias normales del mismo período.

Para el cálculo del balance hidrológico normal seriado, se estimó la evapotranspiración potencial ajustada de cada mes a partir de los valores de temperatura media mensual.

El balance hidrológico mensual seriado, se comenzó en Marzo de 1934, pues ese mes recibió una precipitación de 290 mm., lo que permitió afirmar que el suelo llegó a su capacidad máxima de retención de agua en el espesor de 0,80 m. (200 mm).

Los datos de precipitación utilizados son las sumas mensuales calculadas con datos de precipitación diaria registrados en la E.E.A. Manfredi.

El balance se extiende hasta Diciembre de 1974, lo que da un período de 40 años (1935-1974) para los meses de Enero y Febrero, y de 41 años (1934-1974) para los restantes meses.

Se calcularon las frecuencias absolutas y relativas de los excesos y deficiencias en sus distintas intensidades. Además, se determinaron las frecuencias con que se presentan distintos niveles de almacenaje de agua en el suelo y su relación con los cultivos, para cada mes del año.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Balance Hidrológico Mensual Normal

En el cuadro 2 se presentan los datos del balance hidrológico normal que fueron llevados al gráfico 1.

Solamente los meses de Marzo, Octubre y Noviembre, no presentan deficiencia. La deficiencia anual de agua es de 111 mm. Los meses con mayor deficiencia son: Diciembre (19 mm), Enero (17 mm) y Febrero (18 mm), coincidentes con la época de mayor evapotranspiración potencial.

Los meses de Marzo, Octubre y Noviembre son los únicos donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial. Estos meses no presentan ni excesos ni deficiencias, ya que los pequeños excesos de precipitación con respecto a la evapotranspiración potencial, pasan a reponer el agua del suelo evapotranspirada en los meses secos.

Otra característica de importancia es que no se presentan excesos en ningún mes.

CUADRO N° 2: Balance Hidrológico Normal de Manfredi
 Periodo: 1934 - 1974

EVAPOTRANSPIRACION													
MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ARO
Temperatura (°C)	23,5	22,6	20,2	16,4	13,6	10,3	9,9	11,2	13,8	16,6	19,9	22,3	
Indice Cal. Mensual	10,41	9,82	8,28	6,04	4,55	2,99	2,81	3,39	4,65	6,15	8,10	9,62	76,81
E.P. sin ajustar	111	102	84	60	42	30	27	30	45	60	84	102	
Factor de Correc.	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23	
E.P. AJUSTADA	134	105	89	57	38	25	24	29	45	67	97	125	

BALANCE HIDROLOGICO													
MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ARO
E. P.	134	105	89	57	38	25	24	29	45	67	97	125	835
Precipitación	112	84	100	52	24	12	13	11	36	80	98	102	724
P - EP	-22	-21	11	-5	-14	-13	-11	-18	-9	13	1	-23	
-(P-EP)	-342	-363	(-302)	-307	-321	-334	-345	-363	-372		(-291)	-320	
Almacenaje	35	32	43	42	39	37	35	32	30	43	44	40	
Var. Almacenaje	-5	-3	11	-1	-3	-2	-2	-3	-2	13	1	-4	
ER	117	87	89	53	27	14	15	14	38	67	97	106	724
Exceso Déficit	17	18		4	11	11	9	15	7			19	111
ER/EP. 100	87	83	100	93	71	56	63	48	84	100	100	85	
Relac. de Humedad	-16	-20	+12	-8	-37	-52	-46	-62	20	+19	+1	-18	

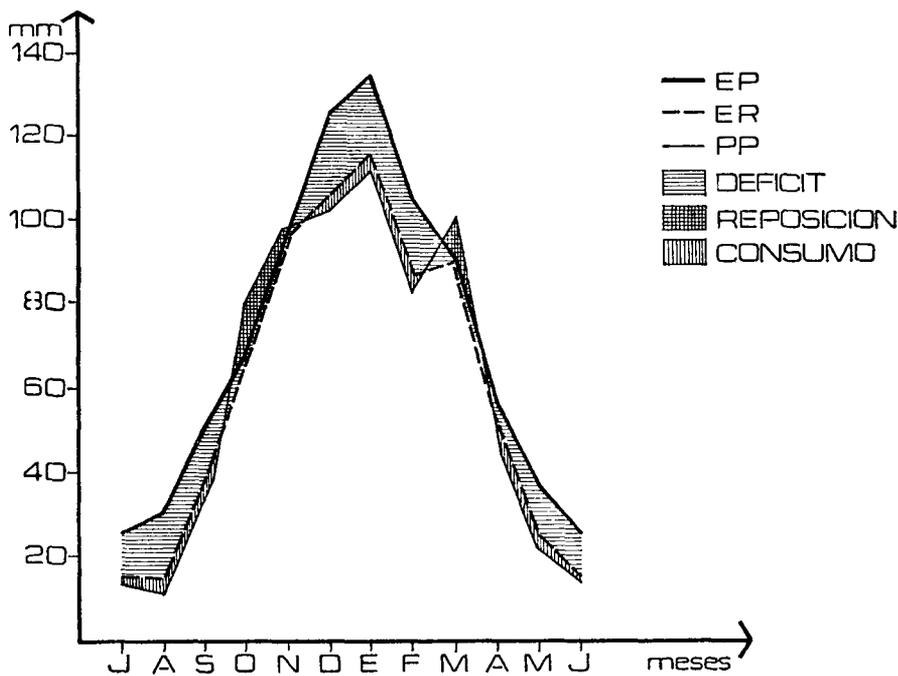


GRÁFICO 1

La capacidad máxima de retención no se alcanza en ningún mes, pues el agua que se repone en el suelo no alcanza a cubrir el agua utilizada en el proceso de evapotranspiración.

Resumiendo: el balance hidrológico normal presenta las siguientes características:

— Dos períodos húmedos (Marzo y Octubre a Noviembre), y dos períodos secos (Abril a Septiembre y Diciembre a Febrero).

— Tres meses sin excesos ni deficiencia (Marzo, Octubre y Noviembre).

— Nueve meses con deficiencia (Abril a Septiembre y Diciembre a Febrero).

— No existen meses con excesos.

Las mayores deficiencias se producen en los meses de verano, siendo menores en los meses invernales. Aunque la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial, en este caso ésta disminuye como consecuencia de las bajas temperaturas.

En los meses de primavera y otoño, las deficiencias no existen o son de pequeña magnitud.

La evapotranspiración potencial anual alcanza un valor de 835 mm., valor que coincide con el calculado para la zona por Burgos y Vidal (1951). La precipitación anual es de 724 mm.

Balance Hidrológico Mensual Seriado

a) Excesos

La frecuencia total de excesos en Manfredi es francamente baja.

Los valores de frecuencias relativas de los excesos en el período considerado (cuadro 3-, muestra que los meses con mayor frecuencia de excesos son: Octubre, Noviembre y Abril. Por el contrario, Julio no registró exceso en todo el período. Junio, Agosto y Septiembre, registraron exceso en una sola oportunidad.

En magnitud, los mayores excesos se produjeron en Enero, Febrero, Marzo y Octubre, con valores superiores a 100 mm.

Los excesos de pequeña magnitud (1 a 20 mm.) son los más frecuentes.

Todos los meses presentan frecuencias elevadas de deficiencia. El mes con mayor número de deficiencia es Agosto con casi 83 %, siguiéndole los meses de Junio, Mayo y Julio, en ese orden con 73 %, 71 % y 71 % respectivamente.

Los restantes meses también presentan altas frecuencias de deficiencia.

El mes con menor frecuencia de deficiencia es Octubre con 44 %, le sigue Marzo con 49 %.

Las deficiencias de pequeña magnitud (1 a 20 mm) son las más frecuentes mientras que las deficiencias mayores (más de 80 mm) son muy poco frecuentes.

No se registraron deficiencias superiores a 100 mm.

En el cuadro 5, se resumen las características del balance hidrológico mensual seriado.

Salvo los meses de Octubre con 44 % y Marzo con 49 %, todos los meses poseen probabilidades de deficiencias superiores al 50 %, es decir, que prácticamente se pueden esperar deficiencias en cada mes, año por medio o más aún.

El régimen hídrico y los cultivos

El crecimiento y desarrollo de los cultivos, se lleva a cabo en forma normal cuando el contenido de humedad del suelo se encuentra comprendido en la reserva de agua útil del mismo (Brochet y Gerbier, 1968).

No todo el rango de agua útil es igualmente aprovechable para la planta, sino que ésta comienza a sufrir sequía y a poner en marcha sus procesos fisiológicos de defensa (cierre de estomas), antes de que se alcance el punto de marchitamiento permanente.

Conviene distinguir entonces, una reserva fácilmente utilizable que representa aproximadamente el 50 % del agua útil, y que asegura la mayor productividad de la planta.

La otra fracción del agua útil no permite más que una producción limitada, o sólo la supervivencia de la planta.

El cuadro 6 evidencia que las condiciones hídricas extremas son muy comunes.

CUADRO N° 5: Balance Hidrológico Mensual Seriado - Manfredi
 Período: 1934 - 1974

MESES	BALANCE HIDROLOGICO NEGATIVO				BALANCE HIDROLOGICO POSITIVO					
	DEFICITS		EXCESOS		SIN EXCESOS NI DEFICITS			TOTAL		
	ABS.	FRECUENCIA %	ABS	FRECUENCIA %	ABS.	FRECUENCIA	%	ABS.	FRECUENCIA	%
ENERO	27	67	4	10	9	23	13	33		
FEBRERO	26	65	4	10	10	25	14	35		
MARZO	20	49	4	10	17	41	21	51		
ABRIL	25	61	5	12	11	27	16	39		
MAYO	29	71	2	5	10	24	12	29		
JUNIO	30	73	1	2	10	25	11	27		
JULIO	29	71	0	0	12	29	12	29		
AGOSTO	34	83	1	2	6	15	7	17		
SETIEMBRE	27	66	1	2	13	32	14	34		
OCTUBRE	18	44	5	12	18	44	23	56		
NOVIEMBRE	21	51	7	17	13	32	20	49		
DICIEMBRE	26	63	4	10	11	27	15	37		

GRÁFICO Nº 2. Probabilidades de ocurrencia de excesos y déficits. Manfredi - período 1934-1974.

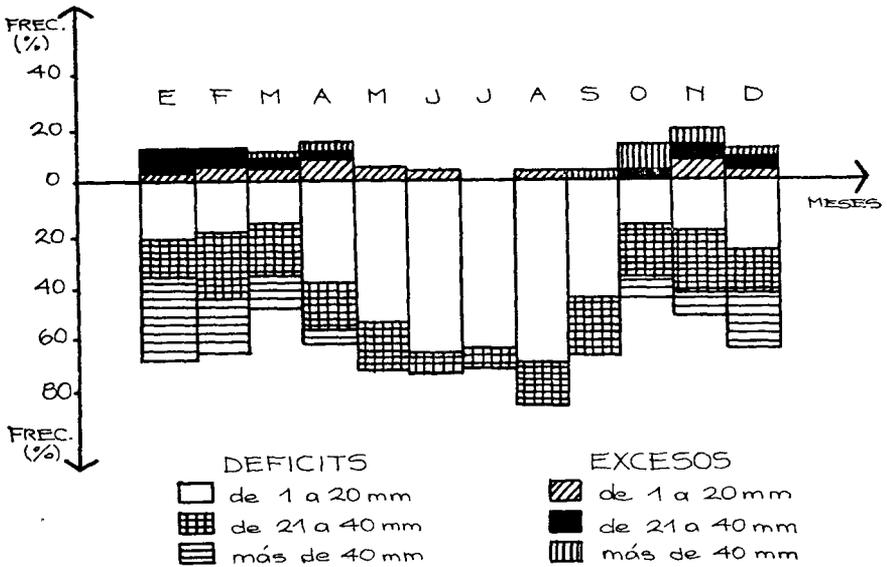


GRÁFICO 2

CUADRO Nº 6. Frecuencia relativa (%) de almacenaje de agua en el suelo - Manfredi. Período 1934-1974.

Condición	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Buena (150-200mm)	23	18	34	27	27	22	20	17	12	24	27	27
Regular (100-149mm)	22	25	12	24	22	27	22	20	29	17	29	27
Mala (-de 100 mm)	55	57	54	49	51	51	58	63	59	59	44	46
Mala y Regular	77	82	66	73	73	78	80	83	88	76	73	73

Los meses más críticos, con mayor probabilidad de bajos niveles de humedad edáfica son Agosto, Julio, Septiembre, Octubre y Febrero, en ese orden.

Noviembre es el mes con menor probabilidad de malas condiciones para los cultivos.

Las condiciones malas superan ampliamente a las buenas y regulares. Salvo en los meses de Abril, Noviembre y Diciembre, las condiciones malas se presentan con una frecuencia superior al 50 %.

IV. CONCLUSIONES

El balance hidrológico normal para el período de 41 años, presenta dos periodos secos, Diciembre a Febrero y Abril a Septiembre, y dos no secos, pequeños, Marzo y Octubre a Noviembre.

En el cuadro 5 se observa una muy baja frecuencia de excesos y una muy alta de deficiencias, superando éstas en casi todos los meses, el 50 %. El balance hidrológico negativo predomina ampliamente sobre el balance hidrológico positivo.

En el cuadro hidrológico normal resultó estar bastante alejado de los valores de cada año, lo que indica su falta de representatividad sobre todo en zonas semiáridas con alta variabilidad de las precipitaciones (Burgos, 1963).

Los cultivos estivales e invernales se desenvuelven en condiciones extremas en más del 50 % de los años.

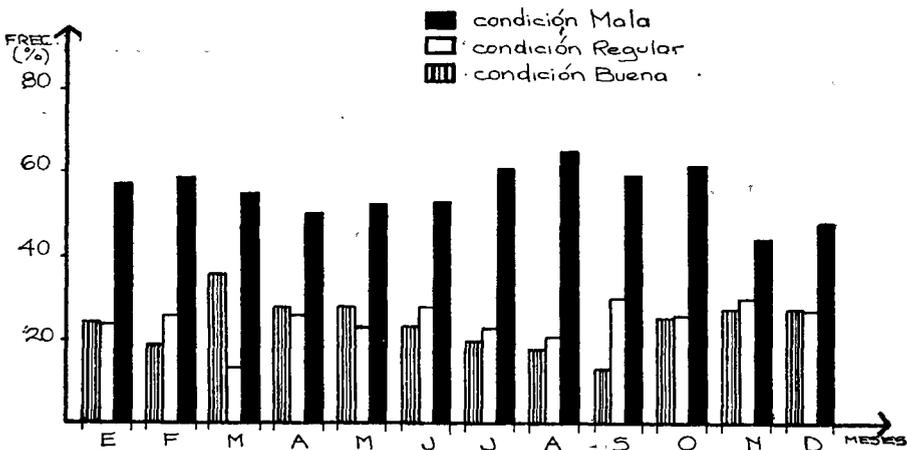


GRÁFICO 3

V. RESUMEN

El balance hidrológico normal se realizó con datos de temperatura y precipitación registrados en la E.E.A. Manfredi, en el período 1934-1974.

Se calculó la evapotranspiración potencial mensual normal por el método de Thornthwaite.

Se llegó a los siguientes resultados:

- Dos períodos con deficiencia: Abril a Septiembre y Diciembre a Febrero.
- Dos períodos sin excesos ni deficiencia: Marzo y Octubre a Noviembre.
- No existen períodos con excesos.

Los valores del balance hidrológico normal se alejan bastante de los obtenidos en cada año.

Los balances hidrológicos seriados se realizaron con los mismos datos de temperatura y precipitación que el balance hidrológico normal.

Se calculó la evapotranspiración potencial también por el método de Thornthwaite para cada mes del período. Se determinaron las frecuencias de excesos y deficiencias y la frecuencia de distintos niveles de humedad edáfica y su relación con los cultivos.

Salvo en los meses de Octubre y Marzo, en los restantes se observan frecuencias de deficiencias superiores al 50%, es decir que el balance negativo predomina significativamente sobre el balance positivo.

SUMMARY

THE AVERAGE WATER BALANCE OF MANFREDI
(CORDOBA, ARGENTINA)

The average water balance was based on data of temperature and rainfall recorded in the Agricultural Experimental Station of Manfredi, during the 1934-1974 period.

The Thornthwaite method was used to obtain the average monthly potential evapotranspiration.

The following results were obtained:

- Two deficiency periods: April to September and December to February.
- Two periods without excess nor deficiency: March and October November
- There were no periods with excess.

The average water balance values differ considerably from the annual ones.

The water balance serial of each year were obtained using the same data of temperature and rainfall as for the average water balance.

The potential evapotranspiration was calculated for each month of the period, also using the Thornthwaite method.

The frequencies of excess and deficiency were determined, as also the different soil moisture levels and their relationship with crops.

With exception of October and March all the other months show deficiency frequencies superior to 50%, that means to say that the negative water balance predominates significantly over the positive balance.

VI. BIBLIOGRAFIA

- BROCHET, P. et N. Gerbier. 1968. L'evapotranspiration. Aspect Agrometeorologique, Evaluation Pratique de L'evapotranspiration Potentielle. Monographie de la Météorologie Nationales N° 65. París.
- BURGOS, J. J. 1993. El clima de las Regiones Aridas en la República Argentina. RIA, INTA, 17(4). Buenos Aires.
- BURGOS, J. J. y A. L. Vidal, 1951. Los Climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. Meteoros, año I (1). Bs. As.
- GRASSI, C. J. 1968. Estimación de los Usos Consuntivos de Agua y Requerimientos de Riego con fines de Formulación y Diseño de Proyectos. CIDIAT, Documento N° 53, Mérida, Venezuela.
- PASCALE, A. J. y E. A. Damario. El Balance Hidrológico Seriado y su utilización en Estudios Agroclimáticos, (inédito). Comunicación personal.
- THORNTHWAITE, C. W. y J. R. Mather. 1957. Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico. Instituto de Suelos y Agrotecnia, INTA. Tirada interna N° 46, Buenos Aires
- THORNTHWAITE, C. W. y J. R. Mather. 1955. The water balance. Drexel Institute of Technology Publications in Climatology Volume VIII. Number 1 Centerton, New Jersey.