Balance hídrico seriado de Palmer para la obtención del índice de severidad de sequía.

Tomado de:

Pedro Enrique Boletta, 2001. Utilización de información agrometeorológica y satelital para la evaluación de la desertificación en el Chaco Seco, Departamento Moreno, Santiago del Estero. Tesis de Magíster en Ciencias Agropecuarias, Escuela para Graduados, Fac. de Ciencias Agropecuarias, Univ. Nac. de Córdoba. Córdoba, Argentina

Para el conocimiento de la marcha anual del balance de la humedad del suelo se utilizó el Balance Hídrico de Palmer (1965). El balance considera dos capas de suelo para la acumulación y extracción del agua: la capa superior, que se denomina **Ss**, contiene 25 mm de agua útil y que, ante la pérdida de la misma (**Ls**), se comporta como un espejo de agua, y la capa inferior, denominada **Su**, que contiene el resto del agua útil.

La pérdida de agua del suelo está en función de la ETP y se la calcula mediante las siguientes expresiones:

$$L_s = S_s \quad \text{o} \quad \text{ETP} - P, \text{ el valor que resulte menor de ambos, donde } P \text{ es la precipitación del período (mes)}$$

La pérdida de humedad de la capa inferior (**Lu**) se produce de acuerdo a:

$$L_u = (\text{ETP} - P - L_s) S_u' / \text{AWC}$$

Donde:

S_u' : humedad del día anterior

AWC : valor del agua útil total, o sea, $\text{AWC} = \text{CC} - \text{PMP}$

CC: contenido de humedad del suelo en capacidad de campo

PMP: contenido de humedad del suelo en el punto de marchitez permanente

Para un período determinado, el contenido de agua total del suelo es $S = S_s + S_u$ y la pérdida total de humedad es $L = L_s + L_u$.

El escurrimiento comienza cuando las dos capas alcanzan el valor **CC**.

El agua útil total está en función de la profundidad y de las características físico-químicas del suelo, para la profundidad considerada.

Se optó por emplear el balance hídrico de Palmer porque a partir del mismo se calcula el Índice de Sequía, que permite comparar las condiciones de la humedad edáfica de distintos tipos de suelo en condiciones de climas diferentes y de agua útil con valores no coincidentes. Este índice se convierte en un factor de comparación al permitir analizar las variaciones de la evapotranspiración, la humedad edáfica y los excesos y deficiencias de cada mes en relación a los valores normales (promedio) de dichas variables. En síntesis, se logran cuantificar los desvíos de la marcha de la humedad edáfica en una época determinada del año respecto de los valores promedio considerando tipo de suelo, precipitación, evapotranspiración y capacidad de retención de humedad edáfica.

El procedimiento original de cálculo consta de las siguientes etapas:

1. Cálculo del balance hídrico mensual seriado

Se calcula a partir de las precipitaciones y de la evapotranspiración potencial estimada mediante el método de Thornthwaite. Dado que el método de Thornthwaite subestima el valor ETP, porque sólo considera la TMM del aire, y que está demostrado que hay otras variables que contribuyen activamente en la ETP (como el déficit de saturación del aire y la heliofanía relativa, entre otros), en este estudio se reemplazó por el método de Morton (1983), que se explica más adelante.

Mediante la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP), se calculan los valores potenciales de recarga, drenaje y pérdida de humedad del suelo.

El formato de los archivos de datos para la realización del balance hídrico se ejemplifica en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2. Archivo de datos de entrada para el BHS (a) con datos mensuales de ETP y (b) con ETP promedio para la localidad de Quimilí ^{1 2}

---

¹ Se describe el Balance Hídrico Seriado (BHS) para la localidad de Quimilí con valores mensuales de ETP. Se presenta una porción del mismo, correspondiente a los primeros años de la serie 1970-90, con la lámina de agua útil que le corresponde a dicha localidad.

² La primera fila de los archivos identifica el observatorio (punto geográfico con registro) y el año de inicio del balance hídrico seriado, en la segunda fila están consignados los valores de agua útil de la capa superficial y de la capa inferior y los montos de iniciación del balance. En la tercera fila, la primer columna identifica a la estación (código de la estación) y el año correspondiente. En el resto de cada archivo, las filas en las que no se da a conocer el total anual corresponden a los valores de ETP en cada mes y en las filas en las cuales se consigna el monto anual acumulado, la precipitación registrada en cada uno de los meses de los años de la serie considerada.

a) Archivo de datos para el BHS con valores históricos de ETP

	QUIMILI OBSERV		1970										
	25.0	125.0	25.0	125.0									
005170	257	243	170	156	63	33	73	123	165	199	276	282	
005170	57	13	43	27	30	5	10	4	36	9	32	8	274
005171	203	179	137	113	92	46	74	117	154	209	249	313	
005171	99	70	51	46	0	0	7	20	0	107	119	10	529

b) Archivo de datos para el BHS con valores promedios de ETP^{2 3}

	QUIMILI OBSERV		1970										
	25.0	125.0	25.0	125.0									
005170	236	193	157	102	69	38	52	96	144	203	215	238	
005170	57	13	43	27	30	5	10	4	36	9	32	8	274
005171	99	70	51	46	0	0	7	20	0	107	119	10	529
005172	137	32	199	54	6	80	0	0	37	31	32	197	805
005173	215	9	238	149	0	77	0	0	0	17	32	141	878

Se inició el balance con los montos máximos de agua útil, dado que las precipitaciones se concentran en esta región en los meses del verano, suponiendo que el suelo se encontraba en condiciones de contenido máximo de humedad.

2. Obtención de los coeficientes promedios de evapotranspiración, recarga, drenaje y pérdida de agua del suelo

Palmer define variables que asumen valores potenciales, y que se detallan a continuación:

$$\text{Recarga potencial (PR)} = \text{AWC} - S'$$

$$\text{Pérdida potencial (PL)} = \text{PLs} + \text{Plu}$$

³ Este archivo se diferencia del anterior por que los datos de ETP son valores promedios que solamente se leen en la primera fila.

Donde:

PLs (Pérdida potencial de la capa superior) = ETP o Ss' o el que resulte menor de ambos

Plu (Pérdida potencial de la capa inferior) = (ETP - Pls) Su' / AWC

S' = cantidad de agua disponible, en la capa superior e inferior del suelo al inicio del mes

Ss' = cantidad de agua disponible en la capa inferior al inicio del mes

Su' = cantidad de agua utilizable de la capa inferior del suelo al inicio del mes

$$\text{Escorrimento potencial (PRO)} = \text{AWC} - \text{PR} = \text{S}'$$

$$\text{o } = 3 \text{ P} - \text{PR}$$

El método permite obtener coeficientes promedios de evapotranspiración, recarga, drenaje y pérdida de agua del suelo de la siguiente forma:

$$\text{Coeficiente de Evapotranspiración } (\alpha) = \overline{ETR} / \overline{ETP}$$

Donde:

$\overline{ETR}$ = Evapotranspiración real promedio

$\overline{ETP}$ = Evapotranspiración potencial promedio

$$\text{Coeficiente de Recarga } (\beta) = \overline{R} / \overline{PR}$$

$$\text{Coeficiente de Escorrimento } (\gamma) = \overline{RO} / \overline{PRO}$$

$$\text{Coeficiente de Pérdidas } (\delta) = \overline{L} / \overline{PL}$$

Los valores climáticamente apropiados para las condiciones existentes (CAFEC) son identificados con el símbolo $\hat{}$ sobre la variable de referencia:

$$\hat{ETR} = \alpha \text{ ETP}$$

$$\hat{R} = \beta \text{ PR}$$

$$\hat{RO} = \gamma \text{ PRO}$$

$$\hat{L} = \delta \text{ PL}$$

$$\hat{P} = \hat{ETR} + \hat{R} + \hat{RO} + \hat{L}$$

3. Conversión de los coeficientes en índices de variación de humedad o sequía

Las deficiencias hídricas “d” en momentos determinados estarán indicadas por el valor que tome la siguiente expresión:

$$d = P - \hat{P}$$

Una primera aproximación al valor del factor climático (K) para cada localidad queda indicado por la siguiente relación:

$$K = (\overline{ETP} + \overline{R}) / (\overline{P} + \overline{L}) \text{ Relación demanda / oferta de agua}$$

Un ajuste de la relación anterior está dada por la expresión que se indica a continuación:

$$K = 1,5 \text{ Log} [((\overline{ETP} + \overline{R} + \overline{RO}) / (\overline{P} + \overline{L}) + 2,80) / \overline{D}] + 0,50$$

Donde:

$\overline{D}$: promedio de los valores absolutos de “d”

El Índice de Anomalía Hídrica (Z) es obtenido de la siguiente expresión:

$$Z = d K$$

El Índice de Sequía de Palmer surge de:

$$X_i = Z_i / (0,3 t + 2,69)$$

$$\text{para } t = 1 \quad X_i = Z_i / 3$$

$$\text{para } i = 1 \quad X = Z / 3$$

El método en el cálculo del Índice de Sequía de un mes dado toma en cuenta la situación del Índice del mes anterior (X_{i-1}) para considerar el factor de arrastre de la sequía o excesos, lo cual se obtiene de la expresión:

$$X_i = (X_{i-1} + Z_i) / (3 - 0,103 X_{i-1})$$

Palmer define el comienzo del período de sequía cuando X desciende alcanzando el valor -1,0 y su finalización cuando el valor de X es mayor que -0,5.

El cálculo del balance hídrico seriado de Palmer se realizó mediante el software PDIWIN (Ravelo y Herrero, 1999).

4. Escala del Índice de Sequía de Palmer (ISP)

El índice de sequía de Palmer permite cuantificar el grado de exceso o deficiencia de humedad (Palmer, 1965). El ISP ha sido utilizado en varios trabajos para caracterizar climáticamente las sequías, su variabilidad y la identificación de su ocurrencia (Ravelo y Rotondo, 1987a; 1987b; Ravelo y Pascale, 1997; Ravelo, 2000). Por otro lado, algunos autores también han encontrado en este índice un buen indicador para otras aplicaciones como el riesgo de peligro de incendios forestales (Haines et al., 1976; Heddinghaus, 1985).

En el Cuadro N° 3 se presenta la escala de valores de ISP que utiliza Palmer para ponderar e identificar los tipos de sequía.

Cuadro N° 3. Escala de valores del índice de sequía de Palmer para distintos tipos de sequía

ISP como factor condicionante de la desertificación	Tipo de Sequía
≤ -4,0	Sequía extrema
-3,99 a -3,0	Sequía severa
-2,99 a -2,0	Sequía moderada
-1,99 a -1,0	Sequía reducida
-0,99 a -0,5	Sequía incipiente
-0,49 a 0,49	Sin sequía (Normal)

Los valores del índice de sequía indican las distintas condiciones de estrés hídrico y/o ausencia de éste, que resulta ser una herramienta útil para valorar en forma objetiva los grados de riesgo de desertificación en una región. Sin embargo, dado que el proceso de desertificación es complejo, por la intervención de varios factores ambientales

(vegetación, suelo, fauna, etc.) y de manejo del ecosistema, el ISP debe ser complementado con otros indicadores “ad hoc”, tales como los relacionados con excesos hídricos, índices de vegetación, etc. (estos son mencionados en el Capítulo 3).

Anexo

Cuadro N° 23. Datos del balance hídrico seriado de la localidad de Quimili, correspondientes a los años 1970 y 1971, ejecutado con ETP mensuales.

AGUA UTIL EN LA CAPA SUPERIOR = 25.0 mm. y EN LA CAPA INFERIOR = 125.0mm

DICCIONARIO DE VARIABLES:

P: Prec.
 ETP: Evapotrans. Potencial
 ALMAC: Almacenaje
 RP: Recarga Potencial
 R: Recarga
 APE: Agua potenc. extraible
 AE: Agua extraída
 ETR: Evapotrans. real
 ESC: Escurrimiento

MES	P	ETP	ALMAC.	RP	R	APE	AE	ETR	ESC.
FECHA: 1970									
1	57.0	257.0	.0	.0	.0	150.0	150.0	207.0	.0
2	13.0	243.0	.0	150.0	.0	.0	.0	13.0	.0
3	43.0	170.0	.0	150.0	.0	.0	.0	43.0	.0
4	27.0	156.0	.0	150.0	.0	.0	.0	27.0	.0
5	30.0	63.0	.0	150.0	.0	.0	.0	30.0	.0
6	5.0	33.0	.0	150.0	.0	.0	.0	5.0	.0
7	10.0	73.0	.0	150.0	.0	.0	.0	10.0	.0
8	4.0	123.0	.0	150.0	.0	.0	.0	4.0	.0
9	36.0	165.0	.0	150.0	.0	.0	.0	36.0	.0
10	9.0	199.0	.0	150.0	.0	.0	.0	9.0	.0
11	32.0	276.0	.0	150.0	.0	.0	.0	32.0	.0
12	8.0	282.0	.0	150.0	.0	.0	.0	8.0	.0
FECHA: 1971									
1	99.0	203.0	.0	150.0	.0	.0	.0	99.0	.0
2	70.0	179.0	.0	150.0	.0	.0	.0	70.0	.0
3	51.0	137.0	.0	150.0	.0	.0	.0	51.0	.0
4	46.0	113.0	.0	150.0	.0	.0	.0	46.0	.0
5	.0	92.0	.0	150.0	.0	.0	.0	.0	.0
6	.0	46.0	.0	150.0	.0	.0	.0	.0	.0
7	7.0	74.0	.0	150.0	.0	.0	.0	7.0	.0
8	20.0	117.0	.0	150.0	.0	.0	.0	20.0	.0
9	.0	154.0	.0	150.0	.0	.0	.0	.0	.0
10	107.0	209.0	.0	150.0	.0	.0	.0	107.0	.0
11	119.0	249.0	.0	150.0	.0	.0	.0	119.0	.0
12	10.0	313.0	.0	150.0	.0	.0	.0	10.0	.0

Cuadro mostrando parte del índice de sequía obtenido para la Localidad de Quimilí convertido en archivo Excel

CUADRO	1. I	NDICE	MENSUAL DE SEQUIA
VALORES	DEL	DICE	ARA LA LOCALIDAD: QUIMILI
No.Orden	IN	P	OBSERV
	ANIO	MES	INDICE
1	1970	1	0
2	1970	2	-1
3	1970	3	-1,7
4	1970	4	-2,1
5	1970	5	-1,9
6	1970	6	-2
7	1970	7	-1,8
8	1970	8	-1,9
9	1970	9	-1,6
10	1970	10	-2,4
11	1970	11	-2,9
12	1970	12	-3,7
13	1971	1	-3,6
14	1971	2	-3,7
15	1971	3	-3,9
16	1971	4	-3,9
17	1971	5	-4
18	1971	6	-3,9
19	1971	7	-3,6
20	1971	8	-3,1
21	1971	9	-3,4
22	1971	10	-2,4
23	1971	11	-1,8
24	1971	12	-2,7
25	1972	1	-2,4
26	1972	2	-3
27	1972	3	0,8
28	1972	4	0,5
29	1972	5	0,1
30	1972	6	1,3
31	1972	7	1,5
32	1972	8	1,2
33	1972	9	1,3
34	1972	10	-0,6
35	1972	11	-1,3
36	1972	12	1
37	1973	1	1,6
38	1973	2	-1
39	1973	3	1,2
40	1973	4	2
41	1973	5	1,9
42	1973	6	3,1
43	1973	7	3,3
44	1973	8	3,6
45	1973	9	-0,3
46	1973	10	-1
47	1973	11	-1,7
48	1973	12	-1,2