

NOTICIAS Y COMENTARIOS

CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS EN LA LOCALIDAD DE TRES ARROYOS (1930-1975). APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PALMER

María Elizabeth Carbone

María Cintia Piccolo

Instituto Argentino de Oceanografía

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los períodos de sequías de la localidad de Tres Arroyos, localizada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. El período de estudio corresponden a los años 1930-1975. Se utilizó el índice de Sequía de Palmer. Se compara la aplicación del índice, con valores de evapotranspiración climática y valores calculados a través de la fórmula de Thornthwaite para este período. Se obtuvo además el balance hidrológico y el índice de anomalía de humedad. Se calculó el índice de sequía X, para lo que se consideraron los períodos más secos (extremos) para distintos intervalos de tiempo. Se observa que el 45.65% de los meses analizados corresponden a sequías de diferente intensidad. Un 34.63% corresponden a sequías incipientes y débiles, mientras que las severas ocurren en un 10.30% y en un porcentaje no muy importante las extremas para este período. La aplicación del índice determinó que el periodo mas extenso de sequía corresponde al periodo 1936-1939 con una duración de 17 meses, alcanzando el máximo de sequía extrema (-10.23) coincidente con las escasas precipitaciones de 1937 y 1938.

Palabras claves: Sequía - índices - anomalías de humedad - balance hidrológico.

ABSTRACT

Periods of droughts were analysed for the Tres Arroyos region, located in the SE of the Buenos Aires province. The study period was 1930-1975. The Palmer's drought index was used in the present study. The index was compared with climate evapotranspiration values

Fecha de recepción: 16 de octubre de 2002. Fecha de aceptación: 5 de diciembre de 2002.

Instituto Argentino de Oceanografía. Casilla de Correo N 804. 8000 BAHÍA BLANCA (Argentina).
E-mail: ecarbone@criba.ar; piccolo@criba.edu.ar

and the ones obtained by Thornthwaite's methods. Hydrological balance and humidity anomaly index was also calculated. The analysis of the indexes allowed to conclude that 45.6% of the period were water-deficient. The longest drought period was 17 months (1936-1939) and it was coincident with an extreme drought (-10.23). The 34.63% corresponded to incipient droughts. The higher frequency of indexes were found between the range of incipient droughtness and moisture.

Key words: Drought - indexes - humidity anomaly - hydrological balance.

1. INTRODUCCIÓN

Las sequías agrícolas son causadas por una inadecuada cantidad de agua disponible en el suelo coincidente con un período de mayor sensibilidad para la planta, esta condición depende del ambiente, cultivo y tipo de suelo. Las sequías son caracterizadas por su intensidad, frecuencia y dispersión geográfica en todo el territorio. Si bien se considera como área prioritaria a aquella destinada a los cultivos anuales estivales e invernales, el índice también es utilizado en otras regiones agrícola-ganaderas.

Las sequías en la Argentina constituyen una de las principales adversidades que afectan, en forma recurrente y con extrema severidad a las regiones destinadas a la agricultura y la ganadería. La sequía agrícola ocurre cuando la cantidad de precipitación, su distribución, las reservas de agua en el suelo y las pérdidas producidas por la evapotranspiración se combinan para causar una disminución considerable de los rendimientos del cultivo y el ganado (WMO, 1975).

La sequía es una propiedad normal y recurrente del clima. A veces se le considera como un evento poco frecuente y aleatorio. La sequía sucede virtualmente en casi todas las zonas climáticas, aún cuando sus características varían significativamente de una región a otra.

La sequía es una anomalía temporal y se distingue de la aridez, en que esta última se restringe a regiones de baja precipitación y es una característica permanente del clima. A la sequía se la considera un desastre natural. Se origina de la deficiencia en la precipitación sobre un periodo extendido de tiempo. Esa deficiencia ocasiona una escasez de agua para el desarrollo de actividades de grupos o sectores de la población. Existen factores climáticos que agravan la severidad de una sequía y que son asociados con ella, como son altas temperaturas, fuertes vientos y baja humedad relativa.

La sequía no debe ser vista como un simple fenómeno natural. Su impacto en la sociedad proviene de la interrelación entre el evento natural y la demanda en el suministro de agua. Según el Servicio Meteorológico Nacional (1988) la sequía «en términos generales puede ser considerada como la insuficiente disponibilidad de agua en una región, por un período prolongado para satisfacer las necesidades de los elementos bióticos locales. Estas necesidades dependen de la distribución de las poblaciones de plantas, animales y seres humanos, de su modo de vida y del uso de la tierra».

La ocurrencia de una sequía depende de los siguientes factores determinantes que impulsan la emergencia del fenómeno: la evapotranspiración y el déficit de la precipita-

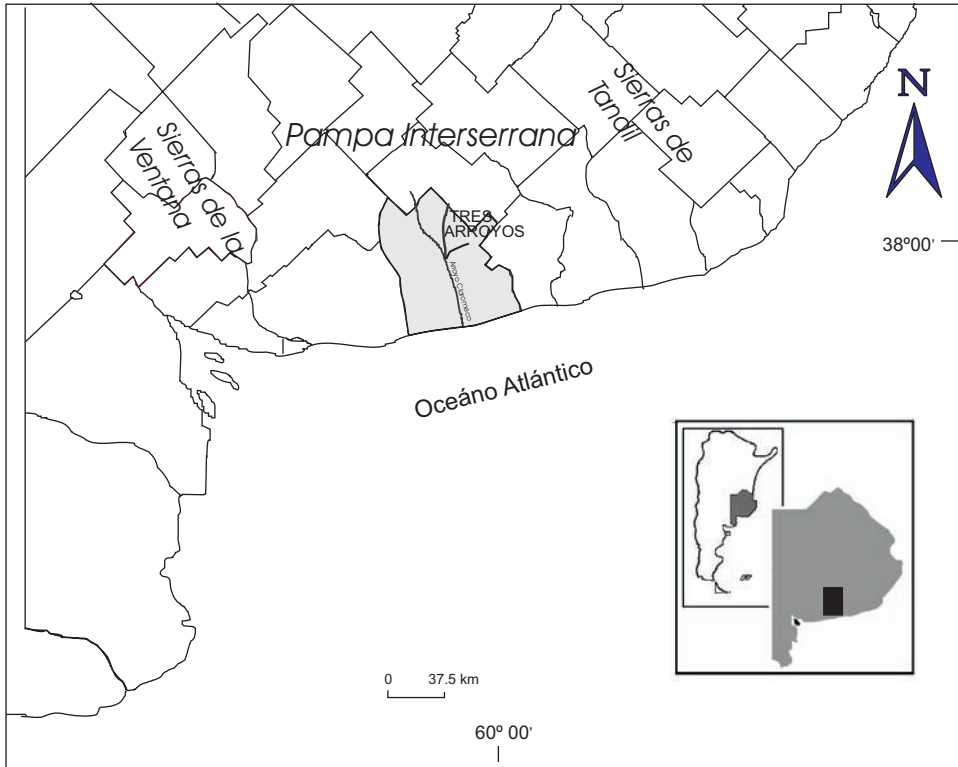


FIGURA 1: Localización del área de estudio.

ción. La sequía pertenece al esquema climático normal de las regiones semiáridas y, en consecuencia, está relacionada con la alta variabilidad de las precipitaciones. La variación de la precipitación en un lugar dado y entre épocas determinadas constituye el factor de impulso principal de las sequías. A su vez, dependen del condicionamiento impuesto por los cambios en la presión atmosférica con las consiguientes alteraciones en la circulación general de la atmósfera. Las sequías están asociadas a condiciones predominantemente anticiclónicas que persisten durante un cierto tiempo.

Existen tres tipos de sequías: a. meteorológica: involucra una reducción en la precipitación en algún período (día, mes, temporada, año) por debajo de una cantidad determinada, normalmente definida como alguna proporción del promedio a largo plazo para un período de tiempo específico. Su definición sólo comprende datos de precipitación.

b. Hidrológica: se refiere a una reducción en los recursos acuáticos (flujo en ríos, nivel de lagos, agua subterránea, mantos acuíferos) por debajo de un nivel determinado para un período dado de tiempo. Su definición sólo incorpora datos de disponibilidad y tasas de consumo basadas en el suministro normal del sistema (uso doméstico, industrial y agrícola).

c. Agrícola: es el impacto que las sequías meteorológicas e hidrológicas tienen sobre esta esfera particular de la actividad humana. Los cultivos requieren condiciones muy

particulares de temperatura, humedad y nutrientes durante su crecimiento para alcanzar su desarrollo máximo. Si la disponibilidad de humedad (o de cualquier otro factor) es inferior al nivel óptimo requerido durante el desarrollo, entonces el crecimiento será menor y la producción se reducirá.

La identificación e intensidad de las sequías es de importancia para la prevención de las contingencias que estas acarrearán con respecto de la planificación de la economía general de un país. Además constituyen la base para el desarrollo de los modelos de predicción en este tema. Es por ello que se considera de utilidad el seguimiento de las sequías en el tiempo y el espacio. Para la detección y evaluación de las mismas se utiliza el Índice de Sequía de Palmer (PDI) mensual (Palmer, 1965).

Esta metodología es aplicada en este trabajo para Tres Arroyos (Figura 1) en el período 1930-1975, para detectar los periodos de sequías edáficas, caracterizar la intensidad y duración de las mismas. Además se compara la aplicación del índice con valores de evapotranspiración climática (FAO, 1990) y valores calculados a través de la fórmula de Thornthwaite para este período. Por lo tanto en el presente trabajo se analiza el Índice de Sequía de Palmer, para caracterizar las sequías de la localidad de Tres Arroyos, localizada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (38° 20' Sur-60° 15' Oeste).

2. ÁREA DE ESTUDIO

El partido de Tres Arroyos pertenece a la región pampeana húmeda por lo que la calidad de sus campos puede considerarse buena, pese a su heterogeneidad, prevaleciendo las tierras negras y ricas en humus. Existen algunas zonas de carácter arenoso y arcilloso.

Las condiciones generales lo hacen apto para la siembra de cereales y el cultivo de oleaginosas, predominando las segundas en los campos de mayor altura. La agricultura ocupa el 51,4% de la superficie explotable, en tanto que la ganadería absorbe el 45%.

En el total del partido existe un alto porcentaje de superficie con suelos de aptitud agrícola. Esto asociado a las condiciones climáticas que lo caracterizan como templado hacen que las actividades ganaderas complementen las agrícolas. Los suelos con aptitud agrícola representan 226.026 hectáreas, aptitud mixta 235.853, y aptitud ganadera 72.066 hectáreas.

El clima de esta zona corresponde al templado de transición (según tipología de Demartone, 1973). La temperatura media anual del área oscila entre los 13.2° C y los 14.1° C, con diferenciación de las cuatro estaciones. La temperatura media máxima más alta se registra en enero con 29.1° C y el valor mínimo se registra en julio con 12.6° C. La temperatura media mínima oscila entre 15° C en enero a 3.1° C en julio. Con respecto a los valores extremos la temperatura máxima corresponde a enero con 39.2° C y el valor extremo mínimo se registra en julio con -10° C, para el período 1950 a 1980.

Las temperaturas medias entre el mes más frío y el mes más caluroso no presentan rango muy extremado entre sí, lo cual unido a las demás condiciones confirman las cualidades climáticas para la producción agrícola ganadera. La precipitación media anual es de 700 mm, las máximas precipitaciones son en marzo con un promedio de 90 mm y las mínimas en agosto con un promedio de 40 mm.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El Indicador de la Intensidad de la Sequía de Palmer (PDSI) es un algoritmo de la humedad del suelo, calibrado para regiones relativamente homogéneas. Se trata de un indicador meteorológico, y responde a condiciones climáticas que han sido anormalmente secas o anormalmente húmedas. Fue creado por Palmer (1965), para medir la pérdida de humedad, basándose en el concepto de oferta y demanda de la ecuación del balance hídrico, teniendo en cuenta otras variables además de la escasez de precipitaciones en lugares determinados.

Este indicador se calcula en base a datos termopluviométricos, y de Contenido de Agua Disponible (CAD) del suelo. A partir de las entradas se pueden calcular todos los términos básicas de la ecuación del balance de agua, incluyendo la evapotranspiración, la recarga del suelo, la escorrentía y la pérdida de humedad del horizonte superficial. (Palmer, 1965). Permite hacer ajustes y transformaciones a períodos mayores a un mes. Esto es muy importante dado que se requiere analizar en cualquier estudio lo que sucede en un período determinado: estación lluviosa, el año agrícola, el año calendario, 2 ó 3 años consecutivos. (Mckee et al., 1993).

Para la realización del presente trabajo se aplicó el modelo de Palmer (Palmer, 1965) a través de un software específico (Ravelo, 1990). Este programa permitió la obtención del balance hidrológico y del índice de anomalía de humedad. El modelo de balance hídrico utilizado considera dos capas de suelo: la capa superior (Ss) contiene 25 mm (1 pulgada) de agua útil y la capa inferior (Su) contiene una determinada cantidad de agua útil en función de la profundidad considerada y las características propias del suelo.

En el balance hidrológico se estima la evapotranspiración potencial (ETP), la recarga (R), el escurrimiento (Ro), pérdida de humedad de suelo (L) y los potenciales valores. Se determinaron los siguientes coeficientes: α o Coef. de Evapotranspiración (ET / PE), β o Coef. de Recarga (R / PR), γ o Coef. de Escurrimiento (RO / PRO), δ o Coef. de Pérdidas (L / PL). Utilizando estos coeficientes se determinó la cantidad de humedad climática o normal para cada mes de acuerdo a esta ecuación:

$$\hat{P} = E\hat{t} + \hat{R} + R\delta + \hat{L} \quad (1)$$

La diferencia entre la precipitación actual y la precipitación necesaria para mantener el promedio de humedad climática o normal Palmer la define como apartamiento de humedad (d).

$$d = p - \hat{p} \quad (2)$$

Durante los períodos húmedos estos apartamientos son positivos y durante los secos son negativos. Además obtuvo un índice de anomalías de humedad (z) multiplicando los valores d por una constante k determinada para cada lugar y para cada período ($z = d.k$). Se estimó como la relación demanda-suministro de humedad y la representó según:

$$k = \overline{ETP} + \overline{R} / \overline{P} + \overline{L} \quad (3)$$

TABLA 1
Rangos de períodos húmedos y secos según Palmer (1965)

X	Clases
> 4,0	Humedad extrema
3,0 a 3,9	Humedad severa
2,0 a 2,9	Humedad moderada
1,0 a 1,9	Ligeramente húmedo
0,5 a 0,9	Humedad incipiente
-0,4 a 0,4	Normal
-0,5 a -0,9	Sequía incipiente
-1,0 a -1,9	Sequía reducida
-2,0 a -2,9	Sequía moderada
-3,0 a -3,9	Sequía severa
< -4,0	Sequía extrema

3.1. Cálculo del índice de sequía

Se calculó el índice de sequía X, para lo que se consideraron los períodos más secos (extremos) para distintos intervalos de tiempo. Siguiendo la metodología propuesta se obtuvo la recta, considerando como categoría de sequía extrema el valor de -4. Se calculó la ecuación de la recta a través de:

$$X_t = \sum_{i=1}^I Z_i / (a.t + b) \quad (4)$$

Se transformaron los milímetros de anomalías de humedad (Z_i) a índices mensuales de sequía. Se calculó así el índice de severidad de sequía, ISS a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta x_i = z_i / (a.t + b) + c x_{i-1} \quad (5)$$

Palmer clasifica los distintos estadios de humedad y sequías de acuerdo a estas categorías (Tabla 1).

3.2. Aplicación del método de Palmer

Para el cálculo del balance hidrológico se utilizaron los datos correspondientes a la estación meteorológica de Tres Arroyos aero, desde el año 1930 a 1975. Con respecto a la cantidad de agua útil para esta zona, se consideró una capacidad de almacenaje de 90 mm (Echagüe, 1991). La evapotranspiración potencial considerada en una primera instancia es la climática, y en una segunda etapa la obtenida a través de la ecuación de Thornthwaite, para obtener una comparación del Índice de sequía.

TABLA 2
 Coeficientes y constantes climáticas para el período 1930-1975.
 (Con datos de evapotranspiracion según Thornthwaite)

Meses	α	β	γ	δ	k
Enero	0.37703	—	—	0.96422	2.65230
Febrero	0.41926	0.00630	—	0.29323	2.37289
Marzo	0.70504	0.11008	0.95488	0.39200	1.30825
Abril	0.78150	0.19622	0.21057	0.42385	1.13816
Mayo	0.99642	0.32638	0.32106	0.06071	0.86923
Junio	0.99950	0.26447	0.32962	0.10692	0.68608
Julio	0.96666	0.41401	0.27139	0.06432	0.71721
Agosto	0.95921	0.18855	0.16490	0.34897	0.81339
Septiembre	0.88338	0.23047	0.18223	0.35831	0.94486
Octubre	0.78805	0.16012	0.05617	0.44164	1.20847
Noviembre	0.62095	0.00536	0.07216	0.53784	1.56148
Diciembre	0.41606	0.02605	0.13597	0.63146	2.30970

TABLA 3
 Coeficientes y constantes climáticas para el período 1930-1975.
 (Con datos de evapotranspiracion climática)

Meses	α	β	γ	δ	k
Enero	0.78327	0.06243	0.00549	0.48700	1.26457
Febrero	0.69784	0.06536	—	0.43204	1.40913
Marzo	0.86246	0.23822	0.28393	0.31210	1.06425
Abril	0.86827	0.23476	0.15080	0.37649	1.04396
Mayo	0.94950	0.25193	0.21942	0.14639	0.89756
Junio	0.94851	0.20788	0.28775	0.16657	0.74402
Julio	0.96333	0.41153	0.27031	0.06447	0.72506
Agosto	0.98344	0.28710	0.19777	0.27749	0.73422
Septiembre	0.97500	0.44683	0.30002	0.16092	0.69823
Octubre	0.99940	0.43323	0.20194	0.10630	0.79289
Noviembre	0.95760	0.21056	0.12113	0.29458	0.92768
Diciembre	0.89898	0.13045	0.09465	0.35529	1.03341

Con los valores del balance se obtuvieron para Tres Arroyos los coeficientes detallados en la tabla 2 y tabla 3, considerando la evapotranspiración climática y la obtenida por Thornthwaite respectivamente. Se observa que los valores obtenidos a partir de la primera son mayores en todos los meses con respecto a los valores de la evapotranspiracion obtenida por fórmula. La constante climática varió notablemente, encontrándose los mayores valores para los obtenidos a partir de la evapotranspiracion de Thornthwaite. Luego de obtener estos coeficientes de los valores mensuales del balance, se obtuvieron los

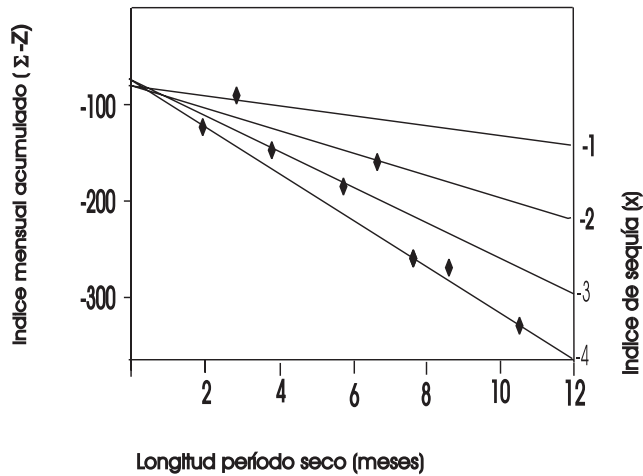


FIGURA 2: Categorías de sequías.

TABLA 4
Intervalos extremos secos

Período	Nº de meses	Σ (-z)
Ene 1950-Feb 1950	2	-124
Dic 1934-Mar 1935	4	-150
Oct 1955-Feb 1956	5	-252
Dic 1967-May 1968	6	-191
Sep 1956-Mar 1957	7	-162
Dic 1944-Jul 1945	8	-267
Jun 1937-Feb 1938	9	-275
Sep 1942-Ago 1943	11	-338

apartamientos de humedad (d) y los índices de anomalía de humedad (z). Fueron analizados los valores negativos de z y determinados los extremos secos. (Tabla 4).

Los índices negativos en función de la duración de los periodos secos se indican en la recta graficada en la figura 2, donde se le dio valor de -4 a la recta que pasa por la máxima cantidad de extremos secos asignándole la categoría de sequía extrema a esta. De acuerdo a la ecuación 1 se calcularon los coeficientes a y b de la recta donde a = 6 y b = 19 para Tres Arroyos, 1930 a 1975.

La figura 2 presenta la recta obtenida, donde se indican las categorías de las sequías (Tabla 5). Después de considerar que el índice de un mes está influenciado por el estado de humedad del mes anterior (Donnari, 1993), este término resulta de la siguiente ecuación:

$$x_i - x_{i-1} = (z_i / 26.00) + cx_{i-1} \tag{6}$$

TABLA 5
Categorías de sequías

X	Categorías
-1	sequía incipiente
-2	sequía moderada
-3	sequía severa
-4	sequía extrema

El coeficiente c para Tres Arroyos alcanza un valor de -0.231. Luego se reemplazó en la siguiente fórmula:

$$x_i - x_{i-1} = (z_i / 26.00) - 0.231x_{i-1} \tag{7}$$

Para obtener el ISS para Tres Arroyos se utilizó la siguiente ecuación (Palmer, 1965)

$$x_i = (z_i / 26.00) + 0.77x_{i-1} \tag{8}$$

Se considera que la sequía comienza cuando el ISS adquiere un valor negativo menor a -0.5 y finaliza cuando cambia de signo o los valores son iguales o mayores que -0.5. Si durante un episodio de sequía hay intercalados meses con valores entre 0 y -0.5 no se interrumpe la sequía.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó el análisis de porcentajes de frecuencias de cada clase. Presentados en la figura 3 se puede observar que del total de meses considerados para este estudio 552, el 45.65% corresponde a sequías de diferente intensidad. Siendo representativo en un 34.63% el de sequías incipientes y débiles, mientras que las severas ocurren en un 10.30% y en un porcentaje no muy importante las extremas para este período. El 18.6% corresponde a la categoría normal. Los casos de humedad extrema representan el 3.26%, superior a los casos de sequía extrema que sólo representan el 0.72%.

Los porcentajes de sequías mensual del periodo analizado, se muestran en la figura 3, donde se aprecia que el mayor porcentaje de sequías mensuales corresponde al rango débil. El mes que mayor porcentaje presenta es noviembre. El menor valor de sequía débil corresponde a marzo, que si presenta un alto porcentaje de sequía moderada (61%). La categoría de severa alcanza el valor más alto para abril con un porcentaje de 25%, y la sequía extrema se visualiza para febrero con un valor de 14.2%. Para obtener esta distribución de categoría mensual, se establecieron los períodos donde los valores de ISS fueran extremos negativos. Se procedió a la identificación de cada categoría en el período y a su vez se determinaron mensualmente.

Resultante de todos estos procedimientos se analizaron 227 meses correspondientes a períodos secos, de los cuales 51 meses corresponden a la categoría de sequía incipiente,

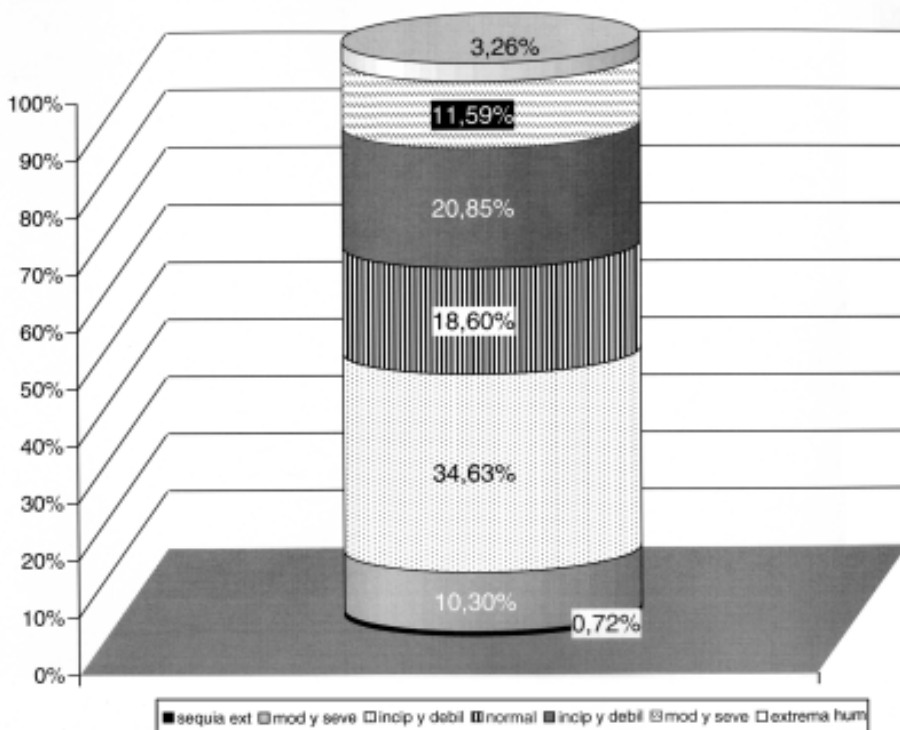


FIGURA 3: Porcentaje de frecuencia para Tres Arroyos 1930-1975.

118 a la de débil, para 39 meses la sequía es moderada, para 15 es severa y la extrema sólo ocurrió en 4 meses. Lo que se aprecia notablemente en la figura 4, con los correspondientes porcentajes de rangos mes a mes.

Los períodos correspondientes a los años 1936-1938, 1942-1943, 1962-1963, 1970-1971, registraron sequías extremas y severas. Durante el primer período mencionado la sequía duró 17 meses. A continuación se presenta el grafico del ISS con la marcha de la anomalía de precipitaciones. Donde se puede observar la presencia del periodo de sequía mencionado más destacable del periodo considerado para este trabajo.

Cabe destacar que los cálculos del ISS, como todos los valores hasta este momento están realizado a partir de los datos de Evapotranspiracion calculados por Thornthwaite (figura 5). Donde el máximo valor del índice (-6.23) se presenta durante el periodo largo de sequía, visualizándose las anomalías negativas de precipitación que acompañan la marcha del ISS. Se observa además la presencia de picos positivos del índice debido a las precipitaciones ocurridas en octubre de 1939 que alcanzaron los 213 mm y, para mayo y junio de 1940 con precipitaciones del orden de los 137 y 176 mm respectivamente.

En la figura 6 se presenta el resultado de los cálculos realizados con la evapotranspiracion climática. El total de la evapotranspiracion climática es de 1113 mm, y la calculada por Thornthwaite para este período es de 750 mm. En el gráfico se aprecia que los valores

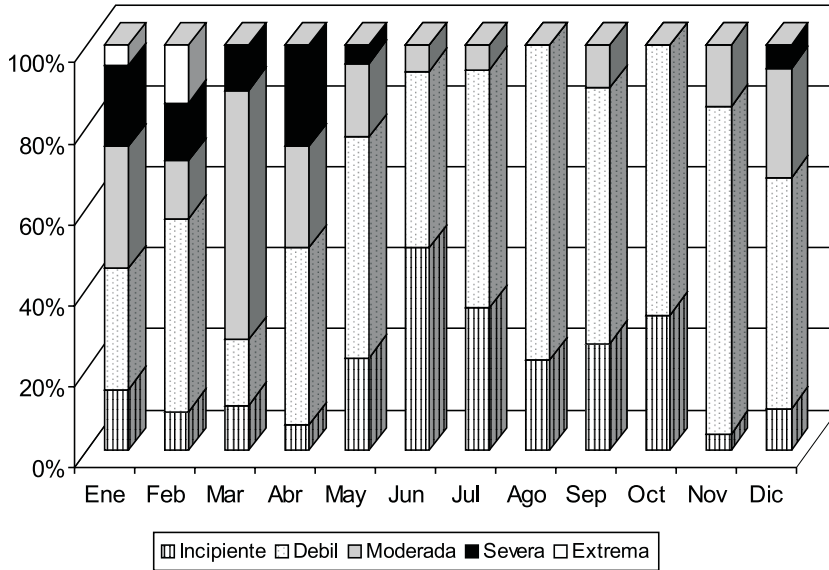


FIGURA 4: Porcentaje de sequías, mes a mes y según categoría.

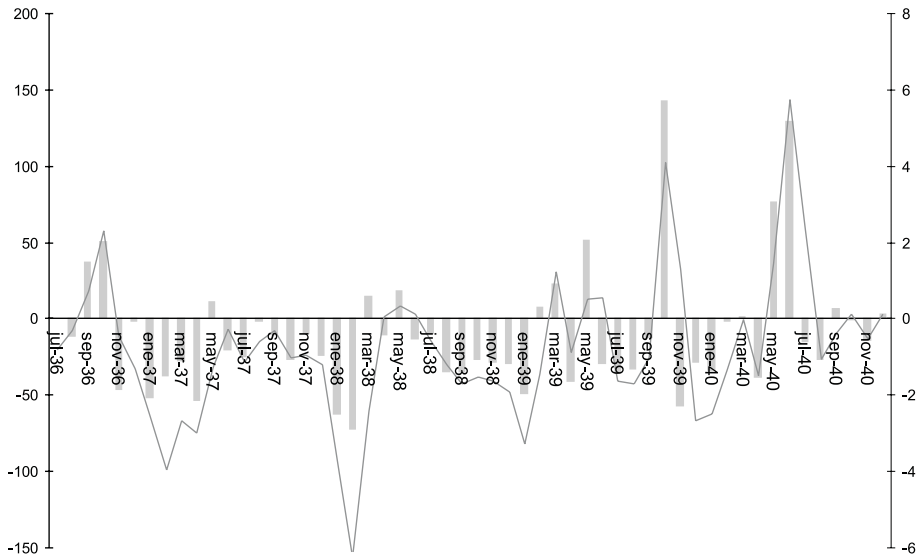


FIGURA 5: ISS y anomalías de precipitación 1936-1940. Tres Arroyos. Evap Thornthwaite.

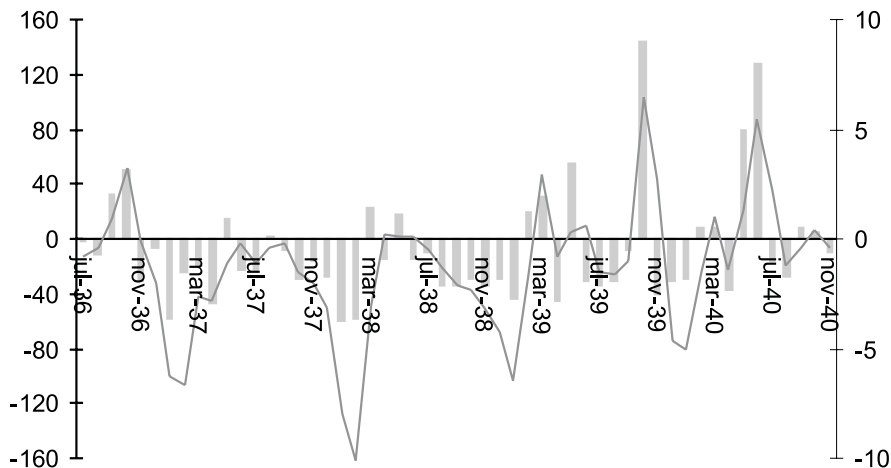


FIGURA 6: ISS y anomalías de precipitación 1936-1940. Tres Arroyos. Evap Climática.

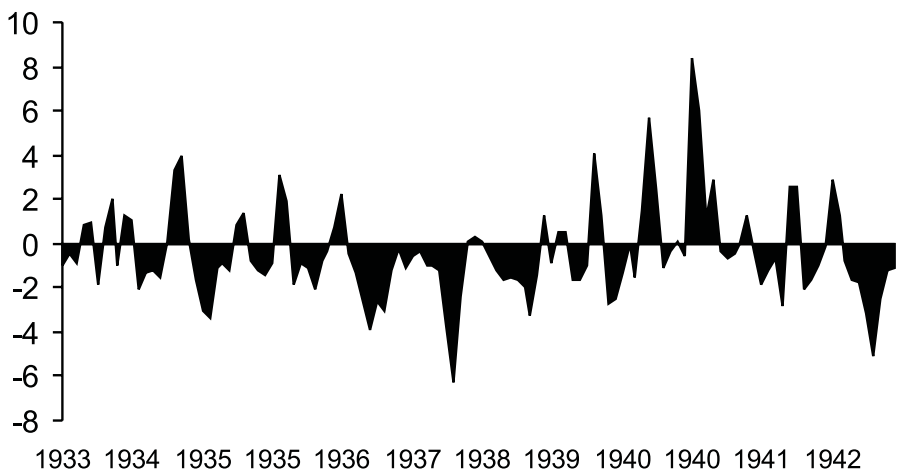


FIGURA 7: Índice de Severidad de Sequía Tres Arroyos 1933-1940.

obtenidos no modifican la tendencia del ISS, y tampoco su correspondencia con las anomalías de precipitaciones.

Se observa que el máximo ISS es de -10.07, mayor en 4 puntos con respecto a la figura 5 durante febrero 1938. Para representar notoriamente el periodo mas seco de este estudio se graficaron sólo los datos del ISS y las anomalías de precipitaciones correspondiente al período 1936-1940.

En la siguiente figura (7) se muestra la marcha temporal del índice de Palmer, para el periodo 1933-1942 donde se evidencian el predominio de los índices negativos (meses secos) extremos para Tres Arroyos. Se observan además los índices positivos correspon-

diente a periodos húmedos que comienzan después de enero de 1939, con un índice de hasta 8 como máximo positivo. Se muestra el índice de Palmer correspondiente a los años 1933-1942 para indicar los máximos de sequía y de humedad de la serie tomada para este estudio.

Además se observa la mayor ocurrencia de periodos secos con respecto a los húmedos en estos años, la frecuencia e intensidad de los primeros es notable a partir de diciembre de 1936.

5. CONCLUSIONES

La aplicación del Índice de Severidad de Sequía de Palmer permitió caracterizar la sequía en la zona de Tres Arroyos. Donde se pudo determinar que el periodo mas extenso de sequía corresponde al periodo 1936-1939 durando 17 meses, y alcanzando el máximo de sequía extrema coincidente con las escasas precipitaciones de esos años que sólo llegaron a 510 mm y 499 mm para 1937 y 1938 respectivamente.

Se pudo observar además que predominan las sequías incipientes y débiles en un 34.63% del período estudiado. Se lograron detectar amplios periodos de sequías y se comprobó que las intensidades del índice coincidieron con los eventos secos más severos registrados en la zona. Esta metodología resulta muy interesante en el tratamiento de los periodos secos y húmedos, de un área pudiendo identificar la alternancia de esas variables en un estudio determinado.

Se realizó en este trabajo una comparación de los índices, considerando datos de evapotranspiración obtenidos de dos fuentes diferentes, pero los resultados no variaron en cuanto a la marcha del ISS, y la diferencia si se marca en los valores de los extremos. En cuanto a los coeficientes a, b, y c la diferencia no resulto importante, sólo en el orden de decimos y centésimos, que no influyeron en el valor final del índice de Palmer.

Con respecto a las constantes o coeficientes (α , β , γ , δ) los valores obtenidos muestran una notable diferencia. Los α son mayores para los obtenidos a partir de la evapotranspiración climática, mientras que la constante k indica valores mayores para todos los meses del año con los cálculos a partir de la evapotranspiración de Thornthwaite.

REFERENCIAS

- DE MARTONE, E. (1973): Tratado de Geografía Física. Ed. Juventud. Barcelona.
- DONNARI, M., SCIAN, B. (1993): Sequías Edáficas en Bordenave, Método de Palmer
Revista Geofísica, vol. 39, 85-99.
- ECHAGÜE, M., LANDRISCINI, M. R., VENANZI, S. (1991): Fertilización Nitrogenada en cebada cervecera Departamento de Agronomía, UNS.
- FAO. 1990. Crop water requeriments. Irrigation and drainage paper 24. 144 p.
- MCKEE, T.B., N.J. DOESKEN, AND J. KLEIST (1995): Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 15-20, 1995, Dallas TX, pp. 233-236.
- PALMER, W. C. (1965): Meteorological drought. U.S. Weather Bureau, Washington D.C. Research Paper No 45, 58 pp.

- RAVELO, A. (1990): Manual Teórico Operativo del Índice de Sequía de Palmer.
- SCIÁN, B. AND M. DONNARI (1997): Aplicación del índice Z de Palmer para la comparación de sequías en las regiones trigueras II, IV y V Sur de Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía-UBA, 17(I), 41-46.
- WMO. (1975): World Climate Programme. Data and Monitoring. Drought and Agriculture. Technical Note No 138. WMO.