

CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LAS SEQUÍAS EXTREMAS EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA

A. C. RAVELO¹

Recibido: 20/01/00

Aceptado: 24/03/00

RESUMEN

Las sequías constituyen una adversidad climática con significativos efectos negativos en los aspectos socio-económicos de grandes regiones agropecuarias de la Argentina. La intensidad y frecuencia de ocurrencia de las sequías está asociada con las características intrínsecas de cada región agroclimática. En este trabajo se evalúa y caracteriza la ocurrencia de sequías en la región pampeana de la Argentina durante el período 1931-1999 por medio de información satelital y de superficie. El análisis temporal y espacial por medio de índices meteorológicos permitió establecer las intensidades y frecuencias de las sequías ocurridas y establecer niveles de probabilidades distribución e intensidad de futuras sequías para el área estudiada. Se complementó el análisis geográfico con índices de vegetación derivados de información satelital. Pudo establecerse la existencia de patrones temporales y espaciales de ocurrencia de sequías, en áreas recientemente incorporadas a la agricultura localizadas en la parte occidental de la región pampeana. Se determinó también una tendencia gradual hacia la disminución de la intensidad de las sequías a partir de los comienzos de la década del 70.

Palabras clave. Sequía, agroclimática, probabilidades, índices

AGROCLIMATIC CHARACTERIZATION OF EXTREME DROUGHTS IN THE PAMPAS REGION OF ARGENTINA

SUMMARY

Droughts are a climatic disaster with negative social and economic impacts on Argentina agriculture and livestock producing regions. Drought intensity and frequency are closely related to regional characteristics. Droughts occurred in the plains region of Argentina during 1931-1999 period are analyzed. Drought occurrence is identified and monitored using ground and satellite data. Meteorological drought indices were used in a time and space analysis to establish drought intensity, frequency, probability distribution and levels of probability occurrence for given drought intensities. A geographic analysis was performed using both drought and vegetation indices derived from satellite information. A close relationship was established between precipitation amount and variability and drought distribution in time and space, particularly for those areas recently incorporated as agricultural land. There is a trend in decreasing drought intensity starting in the '70s.

Key words. Drought, agroclimatic, probabilities, indices

INTRODUCCIÓN

Las sequías constituyen una adversidad climática con significativos efectos negativos en los aspectos socio-económicos de un país. En la Argentina, las pérdidas económicas por sequías en el sector agropecuario han sido registradas por diversos organismos nacionales (SAGyRR, 1998), internacionales (FAO, 1999) y medios de difusión (La

Voz del Interior, 1989, 1997). El comienzo de las sequías y la intensidad alcanzada son procesos graduales y acumulativos que ocurren lentamente y su determinación es difícil. Al respecto, Wilhite y Glantz (1985) han definido cuatro categorías de sequías: meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socio-económicas. Se ha comprobado que la intensidad y la frecuencia de las sequías están asociadas

¹CONICET / Centro de Relevamiento y Evaluación de Rec. Agr. y Nat., Fac. C. Agron./UNC. CC 509, Córdoba, Argentina.

con las características agroclimáticas de cada región (Ravelo y Rotondo, 1987a y 1987b). La identificación de las áreas afectadas por sequías, así como la intensidad y duración de las mismas pueden ser efectuadas mediante la utilización de información meteorológica de superficie (Ravelo y Pascale, 1997; Unganai y Kogan, 1998) e información satelital (Tucker y Choudhury, 1987; Kogan, 1995 y 1997).

El análisis de las precipitaciones ocurridas en la región pampeana en los últimos 30 años parece indicar que existe un continuo aumento de las mismas que se ve reflejado en el desplazamiento hacia el oeste de las isohyetas (Sierra *et al.*, 1993/94; Sierra *et al.*, 1995) y en el incremento de las superficies cultivables y los rendimientos de algunos cultivos (Pascale y Damario, 1996). Dado que las sequías están estrechamente relacionadas con la variabilidad y monto de las precipitaciones, resulta relevante un análisis que permita identificar si existen patrones temporales y espaciales de las sequías, en especial en las áreas recientemente incorporadas a la agricultura o donde se han introducido nuevos cultivos con mayores requerimientos hídricos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de precipitación mensual de 23 estaciones meteorológicas (Cuadro N° 1) ubicadas en las provincias de Buenos Aires, Santa Fé, Córdoba, La Pampa y Entre Ríos para el período 1931-1999. Para dicho período, se estimó la evapotranspiración potencial según el método de Penman (1955) y luego se calculó el balance hídrico y el índice de sequía (PDI) de Palmer (1965). El PDI tiene las siguientes categorías:

> 4,0	Extremadamente húmedo
3,0 a 3,9	Muy húmedo
2,0 a 2,9	Moderadamente húmedo
1,0 a 1,9	Ligeramente húmedo
0,5 a 0,9	Húmedo 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

Se determinó la distribución de probabilidades que mejor ajustaba al PDI y se establecieron las intensidades de sequías para distintos niveles de probabilidad de ocurrencia. Se obtuvieron mapas con la representación geográfica del PDI para meses con extrema sequía y se los comparó con las imágenes satelitales del índice estandarizado de vegetación (ISV). Este índice es calculado a partir del índice normalizado de vegetación (NDVI) compuesto para diez días. El NDVI fue obtenido de una base de datos de 13 años (1982 a 1994) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) de EE.UU (James y Kalluri, 1994). El NDVI es calculado a partir de los datos del satélite NOAA/AVHRR (Tucker y Choudhury, 1987).

El ISV, cuyos valores oscilan entre 0 y 1, fue obtenido utilizando la siguiente expresión:

$$ISV = (NDVI_i - NDVI_{imin}) / (NDVI_{imax} - NDVI_{imin})$$

donde: NDVI_i es el índice para un período *i* de diez días

NDVI_{imin} es el índice mínimo para el mismo período *i* en toda la serie analizada (1982/94)

NDVI_{imax} es el índice máximo para el mismo período *i* en toda la serie analizada (1982/94)

Se graficaron las series temporales del PDI de manera de identificar los aumentos o disminuciones de las intensidades de las sequías ocurridas durante los últimos 70 años y períodos selectos del ISV de la serie disponible para el análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 1 y 2 muestran, a modo de ejemplo, la distribución de frecuencias absolutas y relativas acumuladas del índice de sequía de Palmer para la localidad de Marcos Juárez (Córdoba). Puede apreciarse que ambas frecuencias se ajustan a una distribución normal. Se utilizó esta distribución para establecer las intensidades de sequías para los niveles de probabilidad de 1, 5, 10 y 20% (Cuadro N° 1).

Para los niveles de probabilidad considerados, las sequías de menor intensidad ocurrieron en las localidades de Junín, 9 de Julio y Azul en la provincia de Buenos Aires mientras que las sequías más intensas se registran en las localidades ubicadas en el límite occidental de la región pampeana. Así, por ejemplo, Córdoba y Villa María del Río Seco en la provincia de Córdoba y en Gral. Pico y Santa Rosa en la provincia de La Pampa presentan los PDI mas bajos, indicativos de las sequías más

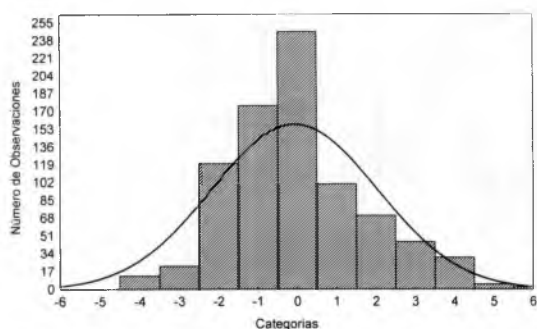


Figura 1. Distribución de frecuencias del índice de sequía de Palmer (PDI) para la localidad de Marcos Juárez, Córdoba.

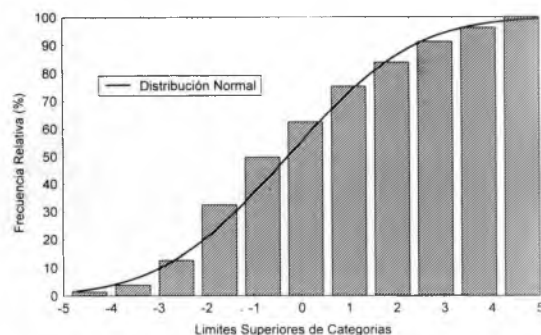


Figura 2. Distribución de frecuencias acumuladas del índice sequía de Palmer (PDI) para la localidad de Marcos Juárez, Córdoba.

Cuadro N° 1. Intensidades del índice de sequía de Palmer (PDI) para diferentes niveles de probabilidad.

Localidades	PDI Promedio	Desviación estándar del PDI	Niveles de probabilidad			
			20 %	10 %	5 %	1 %
9 de Julio	-0,11	1,87	-1,69	-2,51	-3,19	-4,47
Azul	-0,13	1,79	-1,64	-2,43	-3,08	-4,30
Bahía Blanca	-0,27	2,05	-2,03	-3,37	-4,48	-5,56
Ceres	-0,02	2,17	-1,85	-2,80	-3,59	-5,08
Córdoba (Aero)	-0,28	2,44	-2,34	-3,42	-4,30	-5,97
Coronel Suárez	-0,05	2,26	-1,95	-2,94	-3,76	-5,30
Dolores	-0,14	2,01	-1,83	-2,71	-3,44	-4,80
General Pico	-0,16	2,37	-2,16	-3,20	-4,06	-5,67
Gualectuaychú	-0,18	1,89	-1,77	-2,61	-3,30	-4,59
Junín	-0,17	1,49	-1,42	-2,08	-2,62	-3,64
Laboulaye	-0,10	2,13	-1,89	-2,82	-3,60	-5,04
Las Flores	-0,09	2,04	-1,81	-2,71	-3,45	-4,85
Mar del Plata	-0,08	2,21	-1,93	-2,90	-3,70	-5,21
Marcos Juárez	-0,07	2,10	-1,84	-2,76	-3,52	-4,96
Paraná	-0,21	1,96	-1,87	-2,73	-3,44	-4,78
Pigüé	-0,05	2,28	-1,97	-2,97	-3,80	-5,36
Pilar	-0,05	2,28	-1,97	-2,97	-3,80	-5,36
Río Cuarto	-0,13	2,11	-1,90	-2,83	-3,60	-5,03
Rosario	-0,20	1,89	-1,79	-2,62	-3,31	-4,60
Santa Rosa	-0,21	2,41	-2,24	-3,30	-4,18	-5,82
Tandil	-0,13	1,98	-1,80	-2,67	-3,39	-4,74
Tres Arroyos	-0,11	1,98	-1,78	-2,66	-3,38	-4,73
V. María de Río Seco	-0,10	2,51	-2,22	-3,32	-4,24	-5,95

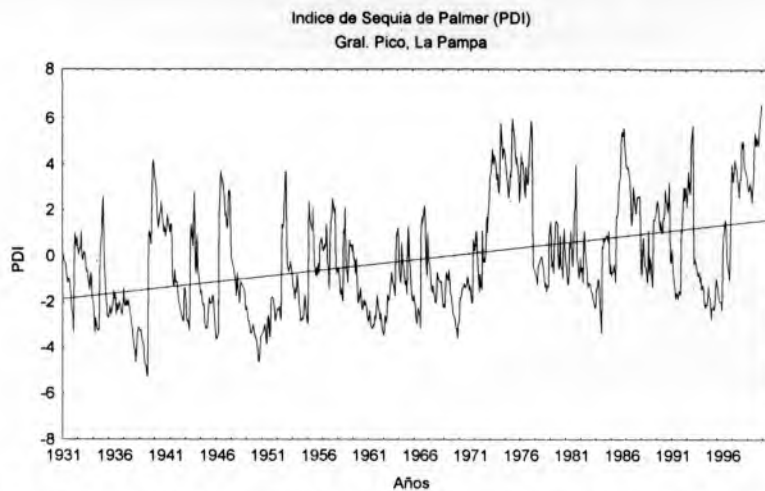


Figura 3. Variabilidad temporal del índice de Palmer en Gral. Pico (La Pampa)

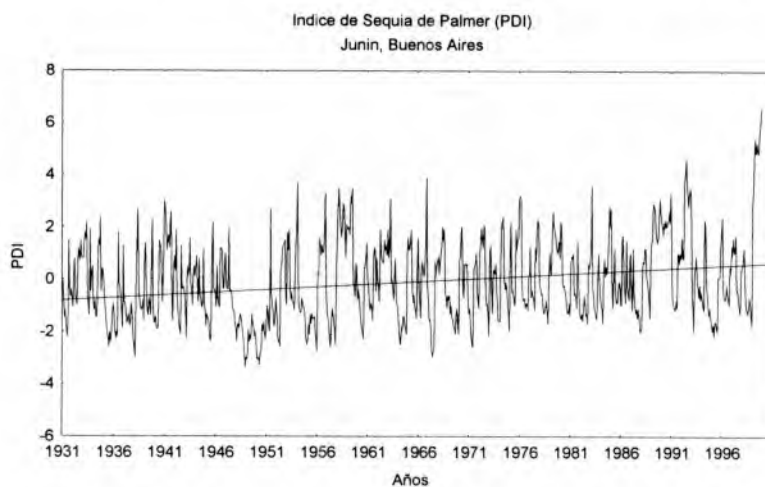


Figura 4. Variabilidad temporal del índice de Palmer en Junín (Buenos Aires)

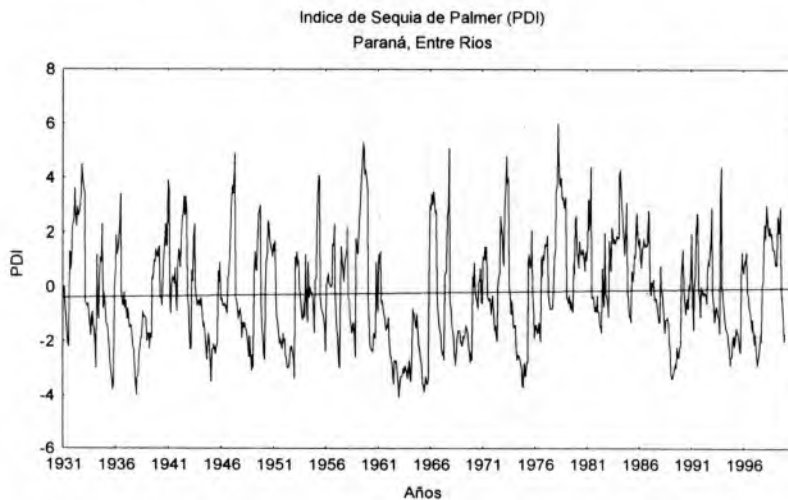


Figura 5. Variabilidad temporal del índice de Palmer en Paraná (Entre Ríos)

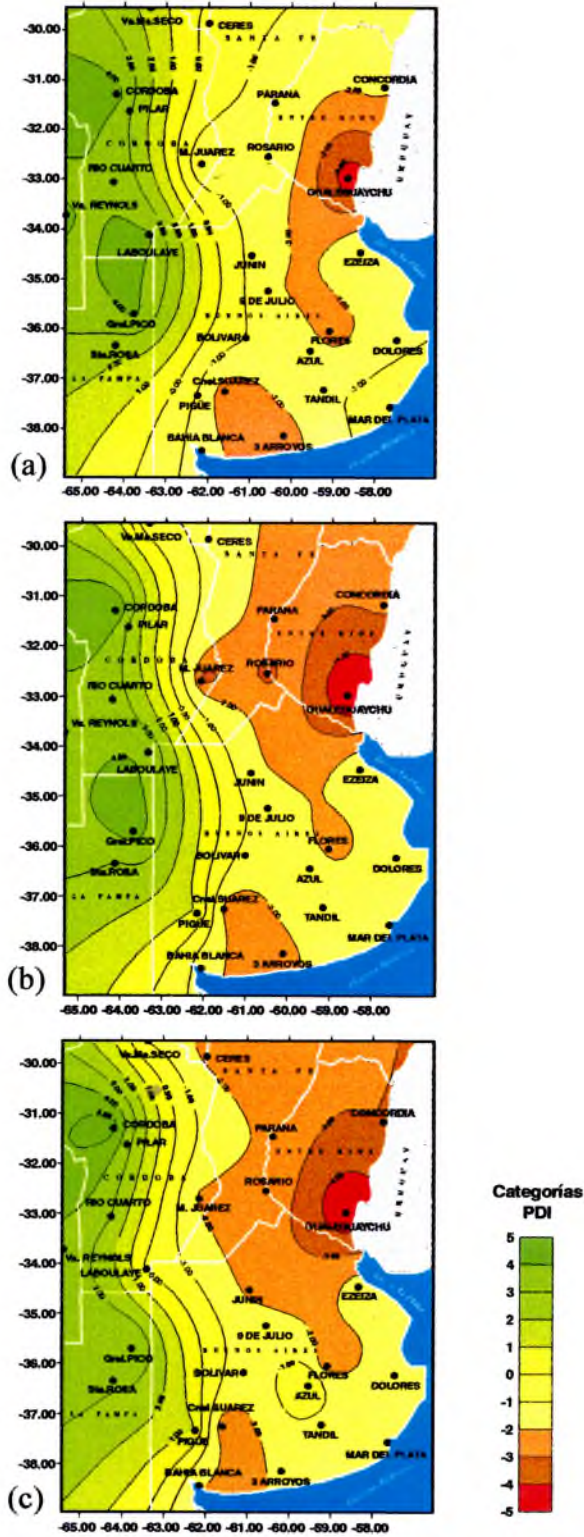


Figura 6: Índice de Sequía de Palmer (PDI) para los meses de Octubre (a), Noviembre (b) y Diciembre (c) de 1999.

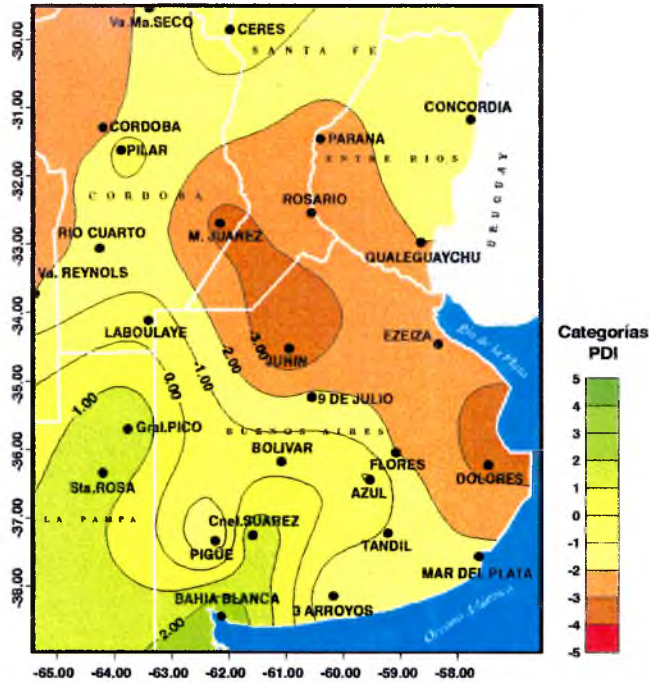


Figura 7: Distribución geográfica del Índice de Sequía de Palmer (PDI) para Setiembre de 1989.

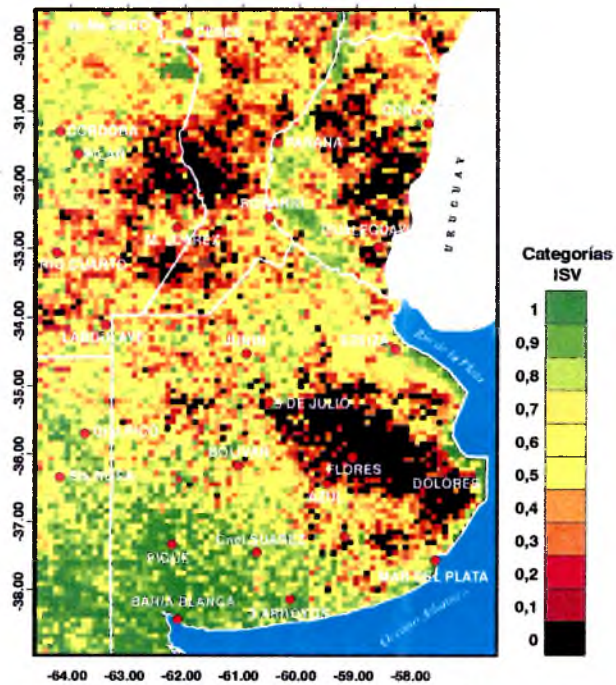


Figura 8: Imagen del ISV para los primeros diez días del mes de Octubre de 1989. Las áreas marrones oscuras señalan la ocurrencia de sequías extremas.

extremas. Por otro lado, las sequías menos intensas se registran en Junín, Azul y 9 de Julio en la provincia de Buenos Aires.

Las Figuras 3, 4 y 5 muestran la serie histórica (1931-1999) del PDI y la tendencia para Gral. Pico, Junín y Paraná, respectivamente. Se destaca en todas las localidades, una tendencia positiva en las categorías del índice, señalándose una menor intensidad en las sequías registradas en las últimas décadas. La pendiente de dicha tendencia aumenta en el sentido este-oeste de la región, en concordancia con la disminución de los montos de las precipitaciones anuales. A su vez, la menor intensidad de las sequías se encuentra asociada con períodos húmedos de índices más elevados. La alternancia de los períodos secos y húmedos en todas las localidades analizadas presentó variaciones regionales. Se encontró que en las localidades ubicadas al oeste de la región pampeana, los períodos húmedos y secos son más largos y se encuentran mejor definidos. Tal es el caso de General Pico. En las localidades del centro y este de la región, con mayores precipitaciones anuales, los períodos secos y húmedos son más cortos y menos definidos (Junín y Paraná).

Con respecto a las sequías extremas, las intensidades mayores corresponden a los años previos a la década del 70, lo cual concuerda con lo expresado por Scian y Donnari (1997) con una reducción en los eventos extremos a partir de 1972. Esta situación podría indicar que, particularmente en el oeste de la región pampeana, el aumento de las precipitaciones ha permitido una reducción en los riesgos de ocurrencia de sequías severas y, en consecuencia, un cambio exitoso de sistemas agrícola-ganaderos a explotaciones netamente agrícolas (Pascale y Damario, 1996).

La reciente sequía registrada principalmente en las provincias de Entre Ríos y Santa Fe durante septiembre, octubre y diciembre de 1999 se presenta en la Figura 6. En el mes de octubre, se destaca el área de influencia de Gualaguaychú como el epicentro de la sequía con índices inferiores a -4 y extendiéndose con menor intensidad hacia el resto del litoral. En noviembre y diciembre, la sequía se extiende desde la mencionada localidad hacia el oeste hasta alcanzar la zona de Marcos Juárez en Córdoba, hacia el sur llega hasta Flores (Buenos Aires) y hacia el norte la sequía supera los límites de la región en estudio.

La Figura 7 muestra la distribución geográfica

del PDI para el mes de setiembre de 1989 que representa a un año con sequías moderadas a severas. El índice de sequía alcanzó valores inferiores a -2,0 en extensas áreas de la región pampeana. Las zonas con índices menores a -3,0 corresponden al norte y este de la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fé y oeste de Córdoba. La zona sur y oeste de la región pampeana (sur de Buenos Aires y este de La Pampa) no presentan sequías sino por el contrario un índice positivo correspondiente a ligeramente húmedo. El análisis comparativo entre el PDI del mes de setiembre y la imagen del ISV de los primeros diez días del siguiente mes de octubre (Figura 8) revela una correspondencia global entre las zonas identificadas con sequías. Las discrepancias entre ambos índices para algunas zonas puede ser atribuido al espaciamiento de las estaciones meteorológicas y la consecuente incertidumbre en el trazado de las isolíneas del PDI. La sequía extrema identificada por el ISV en Entre Ríos no es captada por el PDI por el efecto del valor de este índice en Concordia (-1,7). Por una razón similar, el PDI de Paraná (-2,6) influye en la determinación del área con sequía severa en el sudeste provincial (Figura 7). Sin embargo, el ISV (Figura 8) señala la ausencia de sequía para la misma zona.

CONCLUSIONES

El índice de sequía de Palmer se ajusta a una distribución normal de frecuencias, lo cual permitió establecer las intensidades de las sequías con diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia. Las localidades ubicadas al oeste de la región presentaron las sequías de intensidades mayores.

El análisis temporal permitió identificar períodos con sequías extremas, las cuales tienden a ser menos intensas en las últimas décadas de la serie. Esta tendencia positiva es más manifiesta en las localidades al oeste de la región. Se identificaron patrones de distribución espacial de las sequías extremas en relación con el monto y distribución de las precipitaciones. Algunas zonas aparecen consistentemente con eventos de menor magnitud mientras que otras áreas en el oeste y sudeste de la región presentan sequías más severas. Se pudo comprobar que los eventos extremos ocurrieron previos al comienzo de la década del 70 y que en las décadas posteriores se produce una declinación en la severidad de las sequías. Esta tendencia puede tener consecuencias económicas beneficiosas en las nuevas áreas incorporadas a la agricultura.

El PDI y el ISV coincidieron, en general, en identificar las zonas afectadas por deficiencias hídricas. Esta característica permite reforzar los procesos de identificación y análisis de las sequías mediante la utilización simultánea de ambos índices. Una mayor densidad de estaciones meteorológicas permitiría una representación geográfica más precisa del PDI.

AGRADECIMIENTOS

A los Ings. Walter Da Porta y Alfredo Santa por el procesamiento de los índices. Al Sr. Alejandro Barbeito por la preparación de las ilustraciones. A la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba por el subsidio otorgado para llevar a cabo esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

- FAO, 1999. Food and Agriculture Organization Statistical Data Bases (FAOSTAT). Acceso por internet <http://www.fao.org>.
- KOGAN, F.N., 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Adv. Space Res.* 15:91-100.
- KOGAN, F.N., 1997. Global Drought watch from space. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78:621-636.
- La Voz del Interior, 1989. El ciclo de lluvias acusa una fase seca en Córdoba (30/11/89. Sección Economía).
- La Voz del Interior, 1997. El campo cordobés con distinta tonalidad.(22/2/97. Sección Economía). La emergencia agropecuaria será para una zona reducida (26/2/97. Sección Economía/Agropecuarias)
- PALMER, W.C., 1965. Meteorological Drought. Res. Paper No. 45. U.S. Dept. of Commerce, Washington D.C. 58 pps.
- PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO, 1996. Modificación de las condiciones agroclimáticas para el cultivo del girasol en la Argentina durante el período 1961-90. *Rev. Facultad de Agronomía* 16(1-2): 119-125.
- PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Royal Soc. , London Proc. Ser. A.* 193: 120-146.
- RAVELO, A. C. y V. H. ROTONDO, 1987a. Caracterización climática de las sequías en Río Cuarto, Córdoba. *Actas de la III Reunión Nac. de Agrometeor., Vaquerías, Córdoba, (Argentina):* 165-169.
- RAVELO, A. C. y V. H. ROTONDO, 1987b. Variabilidad de las sequías en regiones semiáridas y húmedas. *Actas de las Iras. Jornadas Nac. de Zonas Áridas y Semiáridas. Univ. Nac. de Santiago del Estero.*
- RAVELO, A. C. y A. J. PASCALE, 1997. Identificación de la ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre. *Rev. Fac. de Agronomía*, 17 (1): 101-105.
- SCIAR, B. and M. DONNARI, 1997. Retrospective analysis of the Palmer drought severity index in the semi-arid Pampas region, Argentina. *Inter. J. Climatology*, 17: 313-322.
- SAGyRR (1998). Informe de evolución de los cultivos. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Rec. Renov. de la provincia de Córdoba. Public. Misc 9 pps.
- SIERRA, E.M., R. HURTADO y L. SPESCHA, 1993/94. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la región pampeana 1941-1990. *Rev. Facultad de Agronomía* 14 (2): 139-144.
- SIERRA, E.M., R. HURTADO, L. SPESCHA, I. BARNATAN y C. MESSINA, 1995. Corrimiento de las isoyetas semestrales medias decenales (1941-1990) en la región pampeana. *Rev. Facultad de Agronomía* 15 (2-3): 137-143.
- TUCKER, C.J. and B.J. CHOUDBURY, 1987. Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sens. Environ.* 23: 243-251.
- UNGANAI, L.S. and F. N. KOGAN, 1998. Drought monitoring and corn yield estimation in southern Africa from AVHRR data. *Remote Sens. Environ.* 63: 219-232
- WILHITE, D.A. and M.H. GLANTZ, 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. In *Planning for Drought*. Eds. D.A. Wilhite and W.E. Easterling. Westview Press, Boulder, Colorado.