

IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS HÍDRICOS EXTREMOS EN LA CUENCA DEL RÍO PARANÁ

• Graciela Viviana Zucarelli •
Universidad Nacional del Litoral, Argentina

Resumen

Los eventos extremos (sequías o inundaciones) son condiciones del clima que se presentan con determinada frecuencia en una región geográfica, limitando las posibilidades productivas, recreativas y las actividades del hombre. De acuerdo con su intensidad y frecuencia pueden llegar, en casos extremos, a causar pérdidas de vidas humanas y daños en la economía nacional, lo cual implica dedicar cuantiosos recursos a su recuperación. El presente trabajo evalúa los eventos secos y húmedos en el ámbito de la cuenca del río Paraná, aguas arriba de Posadas (934 000 km²), usando el Índice de Precipitación Estandarizado. A través su determinación se han detectado varios eventos secos y húmedos durante el periodo 1901-2002. La peor sequía identificada en el área de estudio fue la ocurrida en el periodo 1963-1964, que se presentó en todas las subcuencas, aunque con diferentes grados de severidad. Por su parte, el evento húmedo más severo se presentó en el periodo 1982-1983, en la mayor parte de las subcuencas, con un desfase temporal importante. La aplicación de esta metodología, basada únicamente en datos pluviométricos, es una herramienta útil para el estudio y la comparación de los resultados obtenidos.

Palabras clave: eventos extremos, índice de precipitación estandarizado, río Paraná.

Introducción

Los eventos extremos (sequías o inundaciones) son condiciones del clima que se presentan con determinada frecuencia en una región geográfica, limitando las posibilidades productivas, recreativas y las actividades del hombre. De acuerdo con su intensidad y frecuencia pueden llegar, en casos extremos, a causar pérdidas de vidas humanas y daños en la economía nacional, lo cual implica dedicar cuantiosos recursos a su recuperación.

Dentro de la variabilidad interanual de las precipitaciones de una región, la presencia frecuente de eventos secos y húmedos pueden, en algunas ocasiones, producir graves sequías o severas inundaciones. Estos fenómenos locales y/o regionales de eventos hídricos extremos tienen una estrecha relación con la circulación atmosférica y con sus anomalías, en escala sinóptica y global.

En general, se han desarrollado índices que se utilizan más para detectar la presencia de sequías que de eventos húmedos extremos. Se pueden citar, entre ellos, el conocido Índice de Palmer (Palmer, 1965) y el más reciente Índice de Precipitación Estandarizado (Standardized Precipitation Index, SPI; McKee *et al.*, 1993), entre otros. Estos índices permiten detectar el inicio, fin, intensidad, duración y frecuencia de los eventos extremos en distintas regiones del mundo (Scian, 1997; Velasco, 2006).

El presente trabajo evalúa los eventos secos y húmedos en el ámbito de la cuenca del río Paraná, entre las estaciones Sao Simao y Posadas (934 000 km²), usando el Índice de Precipitación Estandarizado. La aplicación de esta metodología, basada sólo en datos pluviométricos, es una herramienta útil para el estudio y la comparación de los resultados obtenidos.

Metodología

Identificar y cuantificar en términos de duración e intensidad un evento extremo implica el uso de índices que permiten, además, establecer comparaciones entre otras regiones. Existen diversos métodos para la determinación de eventos extremos, dentro de los cuales el más usado es el Índice de Precipitación Estandarizado (Standardized Precipitation Index, SPI). Se trata de un índice desarrollado por McKee *et al.* (1993), para cuantificar el déficit de precipitación en diferentes escalas temporales.

Un déficit o el exceso de precipitación impacta en la humedad de suelo, en la escorrentía, en los reservorios de agua, en el nivel de la napa freática, etcétera. Por lo tanto, el escurrimiento superficial es bien descrito por medio del SPI a escalas de dos a seis meses; mientras que el SPI a escalas de 6 a 24 meses es útil para determinar la variación del nivel de la napa freática. Por su parte, la sequía agronómica ha podido ser bien representada por el SPI a escalas de dos y tres meses.

Técnicamente, el SPI se calcula ajustando la distribución de frecuencia de la precipitación de un sitio dado, en la escala de tiempo de interés, con una función teórica de densidad de probabilidad. De acuerdo con Tom (1966), la función más apropiada para este ajuste es la gamma, si bien ésta ofrece algunas dificultades en las zonas de muy poca precipitación, debido a que no se encuentra definida para valores de la variable iguales a 0.

La función de densidad es luego transformada a una distribución normal estandarizada (con media igual a 0 y varianza igual a 1), siendo el SPI el valor resultante de tal transformación. Este índice representa el número de desviaciones estándar en que el valor transformado de la precipitación se desvía del promedio histórico (el cual queda representado por 0). Los valores negativos del SPI representan déficit de precipitación y, por lo contrario, los valores positivos indican que la precipitación ocurrida ha sido superior al

promedio histórico. El cuadro 1 presenta los valores de SPI de acuerdo con McKee (1993).

Se recomienda, para el cálculo del SPI para un periodo de tiempo dado, en un lugar determinado, emplear los registros de precipitación de treinta años, como mínimo. Hayes *et al.* (1999) analizaron las ventajas y desventajas de la utilización del SPI para caracterizar la severidad de eventos extremos. El SPI tiene las siguientes ventajas principales:

- Es un método simple. El SPI está basado solamente en la precipitación y, al eliminar la dependencia con las condiciones de humedad del suelo, puede ser utilizado en las distintas estaciones del año. Además, no es afectado por la topografía.
- El SPI puede ser calculado para escalas de tiempo variables, lo cual lo hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura, e hidrología superficial y subterránea. Esto permite llevar a cabo el análisis de la dinámica del evento extremo, en especial la determinación del comienzo y el fin, lo que ha sido difícil de obtener por medio de otros índices.
- Su determinación proviene de la estandarización, lo cual asegura que la frecuencia de los eventos extremos en cualquier localidad y en cualquier escala de tiempo es consistente.

Sin embargo, el SPI tiene las siguientes desventajas:

Cuadro 1. Categorías de las anomalías de precipitación de acuerdo con el SPI.

SPI	Categoría
-2.00 o menos	Extremadamente seco
-1.50 a -1.99	Severamente seco
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
- 0.99 a 0.99	Normal
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
1.50 a 1.99	Severamente húmedo
2.00 o más	Extremadamente húmedo

- Su determinación depende de la calidad de los datos de precipitación utilizados. Datos erróneos conducen a SPI equivocados.
- Una limitación del SPI surge de la naturaleza estandarizada del mismo índice, es decir, que los eventos extremos tienen la misma probabilidad de ocurrencia en cualquier lugar. Por lo tanto, no es capaz de identificar regiones que son más propensas que otras a la presencia de sequías.
- Cuando el SPI es empleado en escalas de tiempo cortas (1, 2 o 3 meses) en regiones de baja precipitación estacional pueden presentarse valores positivos (o negativos) altos que son susceptibles de ser erróneamente interpretados.

La escala temporal elegida en este trabajo es de los siguientes periodos: tres meses (SPI3); seis meses (SPI6); nueve meses (SPI9); 12 meses (SPI12), y 18 meses (SPI18). Se eligieron estas escalas temporales, pues se considera que un déficit o exceso de precipitación de cada una de esas duraciones tienen consecuencias significativas en la producción agropecuaria, en la generación de hidroelectricidad y en la economía de una región (Wu *et al.*, 2005).

Un evento seco o comúnmente conocido como “sequía”, y un evento húmedo o “inundación” son conceptos muy amplios; por lo tanto, en el SPI se encuentra implícito que el exceso o deficiencia de agua ha sido suficiente como para ocasionar un daño económico. Así, un evento seco o húmedo es aquel periodo en el cual los SPI son de forma continua negativos o positivos, respectivamente.

Área de estudio

El río Paraná representa la mayor componente del Sistema del Plata y en conjunto con el río Paraguay constituyen una única cuenca que cubre un área de alrededor de 2 600 000 km². La cuenca Paraná-Paraguay representa el 84% del total de la cuenca del Plata y aporta algo menos del 80% del caudal del río de La Plata. La importancia relativa del río Paraná en la

cuenca del Plata se observa en el caudal medio en Posadas, donde presenta un valor de 12 329 m³/s (periodo 1931-1992). El río Paraguay, por su parte, tiene un caudal medio en Puerto Bermejo de 3 893 m³/s, cuya suma (16 222 m³/s) es sólo un 4.7% inferior al caudal medio registrado en Corrientes, que es de 17 037 m³/s (periodo 1931-1992) (García y Vargas, 1998). El río Uruguay posee un caudal medio de 2 468 m³/s en Santo Tomé, que se incrementa a 4 592 m³/s en Concordia.

Diferentes regiones en la cuenca del Plata son afectadas por crecidas que, dependiendo de la magnitud del evento, pueden alterar el desarrollo económico regional. Además, muchos de estos ríos poseen una amplia planicie de inundación que se usa para la agricultura o está ocupada por asentamientos poblacionales (Tucci y Clarke, 1998). A lo largo del río Paraná, sus márgenes han sido periódicamente afectadas por eventos extremos, que producen considerables pérdidas. En el último siglo, la crecida más importante fue la de 1983, que tuvo una permanencia desde julio de 1982 hasta diciembre de 1983. Durante este evento, más de 100 000 personas fueron evacuadas y las pérdidas ascendieron al billón de dólares. Camillioni y Barros (2003) analizaron los caudales extremos del río Paraná y sus forzantes climáticos, encontrando una fuerte relación con El Niño-Southern Oscillation (ENSO).

Para este trabajo se consideró la porción de la cuenca del río Paraná, aguas arriba de la ciudad de Posadas, como se observa en la figura 1. La cuenca se subdividió en subcuencas (subcuencas P1 a P5), considerando como cierre las siguientes estaciones de aforo: Sao Simao, Isla Solteira, Jupiá, Guairá y Posadas. El cuadro 2 presenta las áreas de aporte y el caudal medio de las mismas.

El cuadro 3 muestra un resumen de los datos de caudales de las estaciones de aforo de las subcuencas del río Paraná para el periodo de enero de 1931 a diciembre de 2000.

De la estadística de los caudales, es posible observar que el máximo valor registrado para todas las estaciones analizadas se presentó

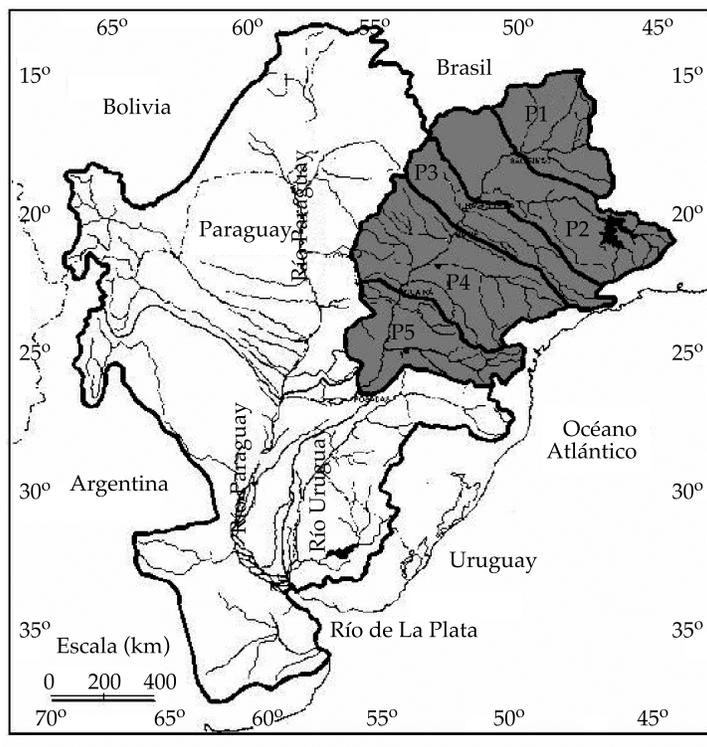


Figura 1. Área de estudio.

Cuadro 2. Estaciones de aforos, áreas de aporte y caudal medio.

Estación de aforo	Río	Área (km ²)	Caudal medio (m ³ /s)	% del caudal en Posadas
Sao Simao	Paranaiba	171 000	2 382	18.9
Isla Solteira	Paraná	375 460	5 329	42.2
Jupíá	Paraná	477 885	6 385	50.6
Guairá	Paraná	830 580	10 059	79.7
Posadas	Paraná	933 360	12 621	100

Cuadro 3. Estadísticas de los caudales de las secciones de aforo.

Estación	Caudal mínimo (m ³ /s)	Año de ocurrencia	Caudal máximo (m ³ /s)	Año de ocurrencia
Sao Simao	450	1954	9 931	1983
Isla Solteira	1 003	1985	33 031	1983
Jupíá	1 649	1969	23 753	1983
Guairá	1 538	1969	23 345	1983
Posadas	4 062	1944	39 009	1983

en el año 1983. Por su parte, los valores de precipitación empleados para la determinación de los SPI fueron obtenidos de la base de datos de la Climate Research Unit of East Anglia (<http://www.cru.uea.ac.uk/>) en una grilla, con una resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$. Los datos contienen la precipitación mensual (mm) desde enero de 1901 hasta diciembre de 2002, para 240 puntos de grilla, que corresponden a la cuenca del río Paraná, aguas arriba de la ciudad de Posadas.

Resultados

El cuadro 4 muestra el rango de variación de los SPI máximo y mínimo para las diferentes escalas temporales analizadas, y para cada una de las subcuencas del río Paraná.

En la zona de estudios han existido eventos extremos dentro de los cuales se ubica la sequía de 1964, con valores de SPI18 de -2.92 en la subcuenca 1 y la crecida de 1983, con un valor de SPI18 de 3.47 para la misma subcuenca (cuadro 5).

Conclusiones

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) empleado en este trabajo permite identificar la intensidad del déficit o del exceso de precipitación en diferentes escalas en la cuenca del río Paraná. Se emplearon escalas temporales de entre 3 y 18 meses, que cubre la ocurrencia de fenómenos de interés para la agronomía y la planificación de los recursos hídricos.

A través de la determinación del SPI se han detectado varios eventos secos y húmedos durante el periodo 1901-2002. Dichos eventos extremos pueden ocurrir en cualquier época del año. La duración e intensidad alcanzada por los eventos húmedos son, en promedio, mayor que la de los eventos secos, definiendo el comportamiento de la precipitación en la región en el periodo analizado.

La peor sequía identificada en el área de estudio fue la ocurrida en el periodo 1963-1964; el evento húmedo más severo se presentó en el periodo 1982-1983. Los caudales máximos

Cuadro 4. Rango de valores de SPI para las subcuencas analizadas.

Subcuenca		SPI3	SPI6	SPI9	SPI12	SPI18
P1	Máximo	3.07	3.10	3.02	3.03	3.47
	Mínimo	-3.59	-3.70	-3.42	-3.08	-2.92
P2	Máximo	2.51	2.64	2.83	2.71	2.53
	Mínimo	-3.58	-3.65	-3.35	-3.02	-2.83
P3	Máximo	2.64	2.87	2.94	2.74	2.84
	Mínimo	-3.10	-3.33	-3.18	-2.70	-2.71
P4	Máximo	2.75	2.66	3.22	3.15	3.22
	Mínimo	-2.99	-3.00	-2.64	-2.54	-2.77
P5	Máximo	3.06	3.13	3.64	3.38	3.24
	Mínimo	-3.30	-3.22	-3.05	-2.39	-2.89

Cuadro 5. Cantidad de eventos extremos identificados.

Subcuenca	Eventos con SPI18 > 2	Eventos con SPI18 < -2
P1	5	5
P2	3	3
P3	4	3
P4	3	4
P5	4	5

registrados en las estaciones de aforo se dan en el año 1983, coincidente con el mayor valor positivo de SPI18 encontrado en ese periodo. Los resultados sugieren que el SPI es adecuado para la identificación y el seguimiento de eventos secos y húmedos en la región en estudio.

Recibido: 29/08/2010

Aceptado: 12/11/2013

Referencias

- CAMILLIONI, J.A. and BARROS, V.R. Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing. *Journal of Hydrology*. Vol. 278, 2003, pp. 94-106.
- GARCÍA, N. and VARGAS, W. The temporal climatic variability in the Río de La Plata basin displayed by the river discharges. *Climatic Changes*. Vol. 38, 1998, pp. 359-379.
- HAYES, M.J., SVODOVA, M.D., WHILHITE, D.A., and VANYARKHO, O.V. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 80, 1999, pp. 429-438.
- MCKEE, T., DOESKEN, N., and KLEIST, J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *American Meteorological Society, 9th Conference on Applied Climatology*, Boston, 1993, pp. 179-184.
- PALMER, W.C. *Meteorological Drought*. Weather Bureau Research Paper No. 45. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce, 1965, 58 pp.
- SCIAR, B. Comparación entre el índice de precipitación estandarizado y otros índices hidrológicos para la región Pampeana. *Revista del Centro Argentino de Meteorólogos*. Vol. 22, núm. 2, 1997, pp. 313-322.
- TOM, H.C.S *Some Methods of Climatological Analysis*. WMO Technical Note # 81. Geneva, Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Office, 1966, 53 pp.
- TUCCI, C.E.M. and CLARKE, R.T. Environmental Issues in the La Plata Basin. *Water Resources Development*. Vol. 14, 1998, pp. 157-173.
- VELASCO, I. *Modelo para la detección y evaluación de la sequía en la Cuenca del Río Conchos, México, mediante un SIG*. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela, 2006.
- WU, H., HAYES, M.J., WILHITE, D.A., and SVOBODA, M.D. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology*. Vol. 25, 2005, pp. 505-520.

Abstract

ZUCARELLI, G.V. *Identification of extreme hydrological events in the Parana River basin. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. IV, No. 5, November-December, 2013, pp. 181-187.*

Extreme events (droughts and floods) are climate conditions that occur periodically in a geographic region, limiting productive and recreational opportunities as well as human activities in general. In terms of intensity and frequency, in extreme cases they can cause loss of human life as well as economic damages nationally due to the allocation of vast resources to recovery. The present work uses the Standardized Precipitation Index to evaluate dry and wet events in the Parana River basin upstream from Posadas (934 000 km²). Several dry and wet events during 1901-2002 were detected based on this index. The worst drought identified in the study area occurred in all the sub-basins during 1963-1964, with different degrees of severity. The most severe wet event occurred in 1982-1983 in most of the sub-basins, with a significant temporal differences. This methodology was based exclusively on rain gauge data and provides a useful tool to study and compare the results obtained.

Keywords: extreme events, Parana River, standardized precipitation index.

Dirección institucional de la autora

M.I. Graciela Viviana Zucarelli

Universidad Nacional del Litoral
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Ciudad Universitaria
3000 Santa Fe, ARGENTINA
Teléfono: +34 (2) 4575 233, extensión 167
zuca@fich1.unl.edu.ar