

USO DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN PARA LA EVALUACIÓN PERMANENTE DEL RIESGO DE INUNDACIONES¹

R. A. SEILER y L. A. BRESSAN²

Recibido: 17/04/00

Aceptado: 26/06/00

RESUMEN

El riesgo de inundaciones así como los momentos críticos de ocurrencia son difíciles de evaluar y detectar. La disponibilidad y aplicación de índices adaptados a esos propósitos, pueden permitir un seguimiento permanente de las condiciones hídricas en zonas inundables y alertar sobre posibles ocurrencias, de manera de activar acciones de prevención y de disminución de efectos del fenómeno. El Índice Estandarizado de Precipitación (ISP) fue desarrollado para la evaluación y detección de sequías. Sin embargo, por las características del mismo puede ser aplicado también para la valoración de excesos hídricos. Este trabajo, motivado en las inundaciones periódicas que afectan el sur de la provincia de Córdoba, tiene como propósito analizar el potencial del ISP como herramienta para la evaluación de situaciones de inundación en esa región. Los resultados obtenidos del comportamiento del Índice previo a cada una de las tres inundaciones importantes analizadas, ocurridas en los últimos 25 años, explican satisfactoriamente las distintas situaciones de humedad y de riesgo. Esto permite promover el uso del mismo como un componente efectivo, de un sistema regional para el seguimiento de situaciones de riesgo de inundación.

Palabras clave: ISP – Inundación – Evaluación de riesgo

THE USE OF THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX FOR PERMANENT FLOODING RISK MONITORING

SUMMARY

Floods risk and the critical time of occurrence are difficult to monitor and detect. The availability and the application of adapted indices may allow continuous monitoring of the hydrological conditions on flooding prone areas, and to promote actions for prevention and to mitigate the impacts of the phenomenon occurrence. The Standardized Precipitation Index (SPI) was developed for drought detection and monitoring. However, due to the characteristics of the index, the SPI could also be used as a tool to monitor conditions with excess of moisture. The objective of this paper, which is motivated in the recurrent floods affecting the south of the Cordoba province, is to analyze the potential of the SPI as a tool for monitoring flood situations in that region. Results from the Index performance previous to each of the three main floods occurred during the last 25 years, satisfactory explain the conditions leading up to the flooding events. This allows to promote the Index application as an effective component of a regional system for flooding risk monitoring.

Key words: SPI - Flood – Risk monitoring

INTRODUCCION

Las inundaciones, al igual que las tormentas violentas o las sequías, son situaciones que el clima presenta con distinta frecuencia en el tiempo y según los lugares geográficos. Diferentes regiones de la Argentina no están exentas de este tipo de

fenómeno, que según su magnitud conmocionan el desenvolvimiento regional y nacional. Aunque los perjuicios y costos ocasionados por una inundación resultan difíciles de cuantificar en forma total, no hay dudas que estos en general son cuantiosos, máxime si se consideran además de los económi-

¹ Trabajo realizado con apoyo de la Sec. de C. y T. de la UNRC y del CONICET (PIP No. 0406/98).

² CONICET – Cátedra de Agrometeorología, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36 km 601 (5800) Río Cuarto, Cba. Email: rseiler@ayv.unrc.edu.ar

cos, también los costos sociales y del medio ambiente. Karl y Knight (1998) detallan situaciones de inundaciones recientes en EE.UU., cuyas pérdidas superan los dos mil millones de dólares. En la Argentina, como consecuencia de las inundaciones de 1998 en el Litoral, se mencionan inversiones y gastos del orden de los 800 millones de pesos (Presidencia de la Nación, 1998).

La recurrencia manifiesta del fenómeno de las inundaciones, principalmente en aquellas áreas de riesgo, debe reforzar el concepto de que las inundaciones son una característica normal del clima y que sus impactos provienen del efecto directo del fenómeno y, además, de la vulnerabilidad de la sociedad que lo soporta (Wilhite y Hayes, 1998). En relación con este último aspecto, se estima que el número de personas vulnerables ante la ocurrencia de esos tipos de fenómenos naturales, se incrementa a razón de 10 millones por año (Int. Fed. of the Red Cross and Red Crescent Soc., 1995), siendo probablemente ésta una de las razones de la triplicación de los daños económicos producidos por desastres naturales, en los últimos treinta años (Domeisen, 1995).

Las consecuencias de las inundaciones pueden reducirse significativamente mediante el establecimiento de políticas y planes adecuados. Wilhite (1996), aunque dirigido a las sequías, proporciona un buen trabajo metodológico para el establecimiento de los mismos, que también puede ser aplicado para inundaciones. Estos planes requieren como uno de los componentes organizacionales primarios, de la disponibilidad de sistemas o indicadores, útiles para una evaluación permanente de las situaciones de riesgo y para el aviso anticipado de la ocurrencia del fenómeno. El Índice Estandarizado de Precipitación (ISP) (McKee, *et al.* 1993; McKee, *et al.* 1995) fue desarrollado para la evaluación de sequías y las subsecuentes aplicaciones han sido con el mismo propósito (Komuscu, 1999; Hayes, *et al.* 1999). No obstante, estos últimos autores estiman que el ISP podría ser utilizado también como indicador del desarrollo de condiciones de exceso de humedad conducentes a situaciones de inundación. El ISP es capaz de reflejar, según las escalas de tiempo utilizadas para su cálculo, la humedad del suelo en el corto plazo

a la vez que las disponibilidades freáticas en más largo plazo (Hayes, *et al.* 1999).

Este estudio es motivado especialmente en las inundaciones ocurridas el sur de la provincia de Córdoba en los últimos 25 años y particularmente por la última de 1998. El mismo tiene como propósito la aplicación del Índice Estandarizado de Precipitación (ISP) y el análisis de su potencialidad como indicador de situaciones de riesgo de inundaciones.

MATERIALES Y METODOLOGIA

La zona de estudio corresponde a la de las llanuras mal drenadas del sur de la provincia de Córdoba. Las inundaciones en esta región son causadas fundamentalmente por excesos de precipitación en la cuenca inundable y por derrames de ríos y arroyos, de los excesos de agua colectados aguas arriba de la misma. No obstante estos factores, otros tales como el estado de humedad del suelo, los aportes por escurrimientos y las características físicas de las cuencas (tipos de suelos, tamaño, topografía, estructuras de control, manejo), son también elementos importantes para la ocurrencia del fenómeno. A pesar de la significancia de las distintas variables, la mayoría de los estudios climáticos tienden a enfatizar las lluvias únicamente. Este análisis se basó en series de 25 años de datos diarios lluvia de dos localidades, una situada dentro de la región inundable, Laboulaye y otra fuera de ella, Río Cuarto. La selección sólo de las localidades mencionadas, para este estudio inicial, obedece a la disponibilidad para las mismas de series confiables y de aceptable extensión, a la vez que al propósito de evaluar aportes de lluvia tanto de la zona inundable (Laboulaye) como de áreas próximas (Río Cuarto). Las series utilizadas (desde julio de 1974 a junio de 1999) corresponden a observaciones de la estación del SMN y de la estación Agrometeorológica de la Universidad de Río Cuarto, de los respectivos lugares.

La metodología consistió en aplicar el Índice Estandarizado de Precipitación (ISP) (McKee, *et al.* 1993; McKee, *et al.* 1995). El Índice se calcula como la diferencia entre la precipitación de una escala de tiempo seleccionada (1, 3, 6, 12, etc, meses) para cada uno de los años de la serie y la media de la precipitación, dividida por la desviación estándar, ambas de la serie y de la escala de tiempo seleccionada. Este asume la siguiente forma:

$$ISP = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

donde x_i es la probabilidad acumulada de la función Gamma Incompleta

$$ISP = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

pitación de una

escala de tiempo i para cada año de la serie; \bar{x} y σ son respectivamente, la media y la desviación estándar de la serie, para la misma escala de tiempo i .

De acuerdo a McKee, *et al.* (1993) el índice tiene una distribución normal, de manera que puede ser usado para evaluar tanto períodos secos como húmedos. Un período húmedo según el ISP puede ser definido para un tiempo de escala i , como el período durante el cual el ISP es continuamente positivo y alcanza un valor de $+1$ o mayor.

A partir de las series de lluvias disponibles y para cada una de las localidades seleccionadas, se calculó el ISP en escalas de tres, doce y veinticuatro meses, respectivamente. La dinámica de la humedad, representada por los valores del Índice, se analizó gráficamente para cada una de las escalas a lo largo de las series y para cada lugar. Las fechas de inicio de las inundaciones de los últimos veinticinco años (Consejo Deliberante de Laboulaye, comunicación personal) fueron superpuestas en los gráficos para el análisis y corresponden a julio de 1979, agosto de 1986 y marzo de 1998.

RESULTADOS Y DISCUSION

Utilizando el ISP calculado para períodos de 24 meses (ISP_{24}), en Laboulaye se identifican cuatro ciclos húmedos bien definidos en la serie analizada y en los que ocurrieron inundaciones en tres de ellos (Fig. 1 a). Cuando el ISP para 12 meses (ISP_{12}) es utilizado en el análisis (Fig. 1 b), también se visualizan los mismos ciclos húmedos aunque con algunas interrupciones dentro de cada uno, en los que el ISP asume valores próximos a cero o negativos. Para períodos de tres meses de ISP (ISP_3) (Fig. 1 c.), dentro de cada uno de los ciclos húmedos detectados por ISP_{24} (Fig. 1. a), se observa siempre una mayor frecuencia de períodos húmedos comparados con los secos.

Cuando las escalas de tiempo utilizadas son pequeñas (3 a 6 meses) el ISP oscila con frecuencia por encima y por debajo de cero, mientras que cuando la escala se incrementa a 12, 24 meses, el Índice responde más lentamente a la variación de la precipitación. Los períodos con ISP negativos y positivos resultan menores en número pero de más larga duración. Estos resultados observados concuerdan con las aseveraciones en el mismo sentido de McKee, *et al.* (1993).

Para el ciclo húmedo producido entre 1975 y 1980, al aumento del agua freática que es de suponer

como consecuencia de ese balance hidrológico positivo, se suma durante el período previo a la fecha de la inundación (julio de 1979) la ocurrencia de una serie de ciclos húmedos consecutivos de tres meses, con interrupciones por ciclos secos menos frecuentes (Fig. 1 c). En el caso de la inundación de agosto de 1986, producida en el segundo ciclo húmedo, se observa una situación similar, donde más de diez valores consecutivos húmedos (mayor de doce meses) de ISP_3 preceden a la fecha de inundación, dentro de un ciclo de humedad superficial alta. Siguiendo la misma línea de análisis, en 1993 existieron momentos de riesgo de inundación. Dos períodos consecutivos de aproximadamente siete valores de ISP_3 cada uno (nueve meses), con una única interrupción de poca magnitud, configuraban un cuadro de probable inundación en el que se podría haber desencadenado el evento.

En 1998 también se observa un modelo de situación similar a los anteriormente analizados. Previo a marzo que fue la fecha de inicio de la última inundación, existieron alrededor de ocho meses de situaciones húmedas sin interrupción, caracterizadas por el ISP_3 (Fig. 1 c) y más destacados que en los casos anteriores. Además, un aspecto importante de señalar es la ocurrencia durante esos ciclos húmedos, de lluvias de alta intensidad que favorecieron aún más la ocurrencia del fenómeno. Una situación diferente en este caso, es que la inundación se produce muy próxima de la salida de un largo ciclo seco (Fig. 1 a, b) que fuera generado por las sequías de 1995/96 y de 1996/97. Combinando la información proporcionada por los Índices, se estima que la inundación se produjo predominantemente por la acumulación de los intensos aportes superficiales durante del período estival 1997/98.

El análisis de la situación hídrica para Río Cuarto (Fig. 2 a, b), muestra que las frecuencias de escalas más largas de ISP, tales como ISP_{12} y ISP_{24} , presentan bastante simultaneidad en el tiempo de ocurrencia con los ciclos húmedos o de excesos observados en Laboulaye. También aquí aparecen los cuatro ciclos húmedos a que se hizo referencia, aunque con escasa magnitud o neutro el centrado alrededor de 1993, cuando no se registraron inundaciones. Si bien el análisis de Río Cuarto solamente, como lugar fuera de la zona inundable es insuficiente para emitir conclusiones definitivas, de acuerdo a

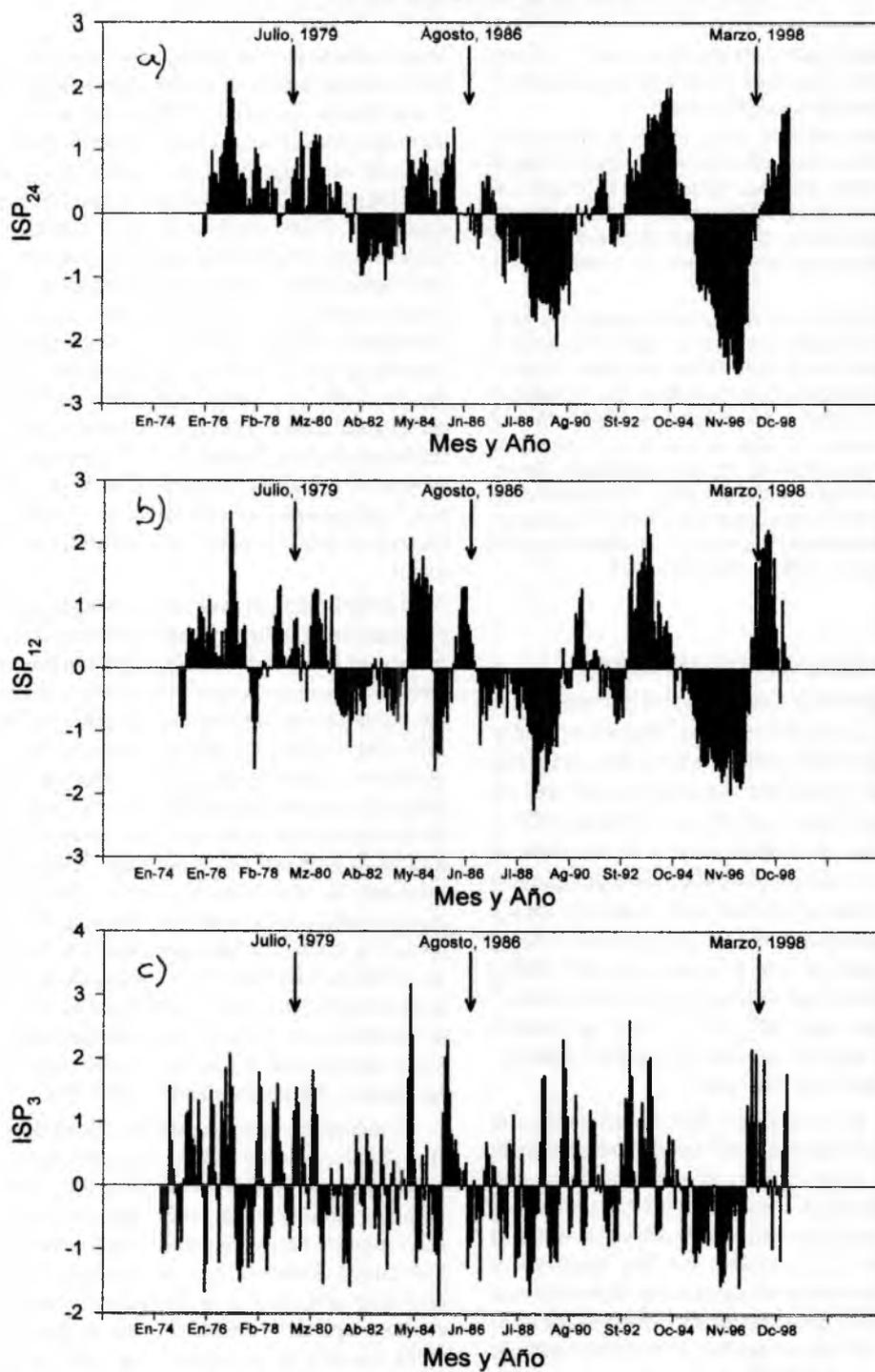


Figura 1. Valores de ISP para Laboulaye calculados de la serie 1974/99 para periodos de a) 24 meses (ISP₂₄); b) 12 meses (ISP₁₂); c) 3 meses (ISP₃) y fechas de ocurrencia de inundaciones a lo largo de la serie (flechas)

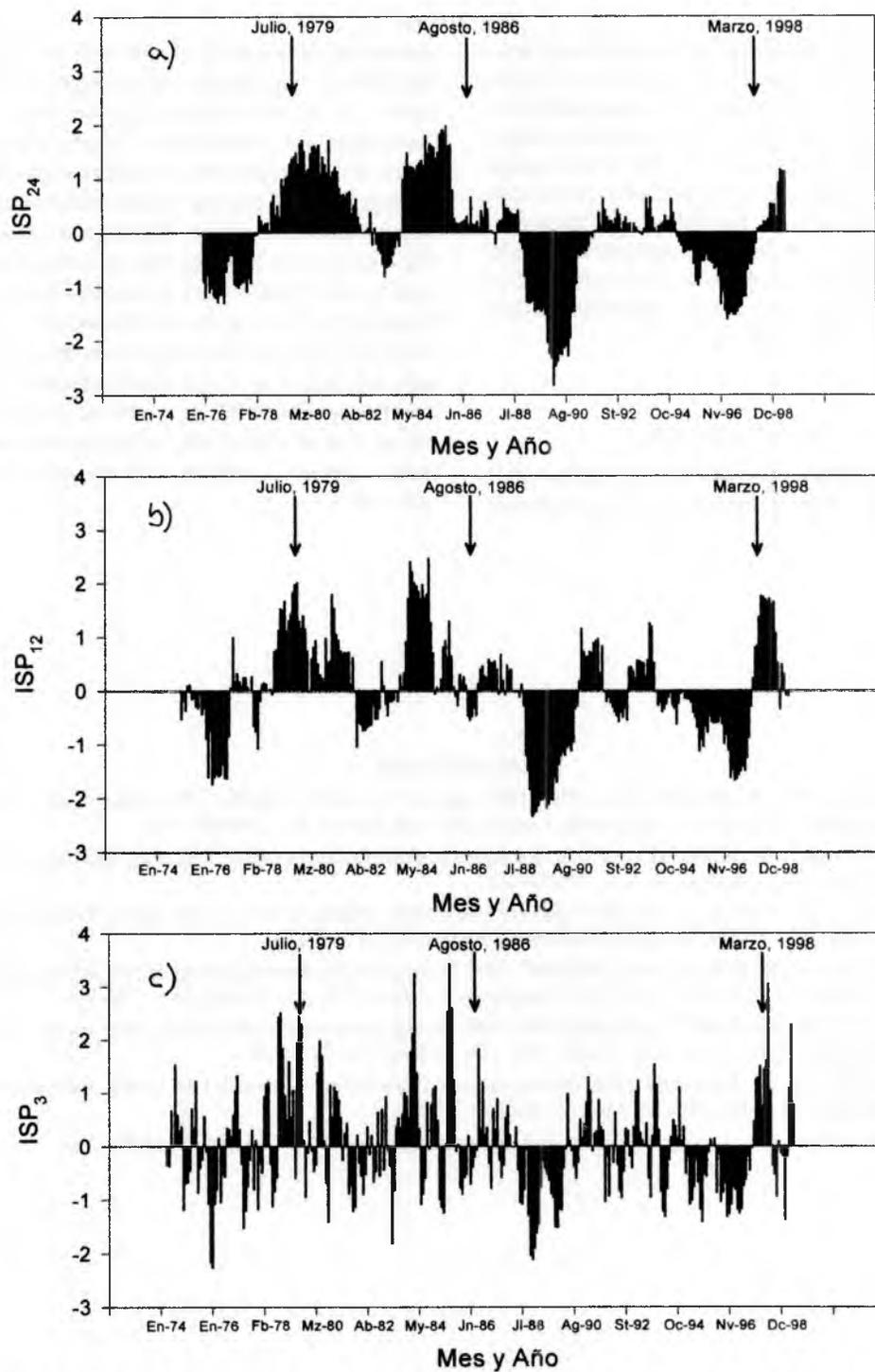


Figura 2. Valores de ISP para Río Cuarto calculados de la serie 1974/99 para periodos de a) 24 meses (ISP_{24}); b) 12 meses (ISP_{12}); c) 3 meses (ISP_3) y fechas de ocurrencia de inundaciones a lo largo de la serie (flechas)

las escalas mayores de ISP usadas puede suponerse la ocurrencia de aportes de agua en la región, similares a los registrados en la zona inundable y posibles de incrementar por escorrentía la magnitud en las áreas deprimidas. En 1993 por otra parte, los aportes de agua pueden haber sido únicamente locales en el área de Laboulaye, no llegando a superar niveles críticos para desencadenar inundación. Las frecuencias de escalas más cortas (ISP₃) tienen más disparidad, aunque muestran bastante similitud en 1979 y 1998 (Fig. 2 c).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de este análisis indican un importante potencial del ISP, como herra-

mienta aplicable para el seguimiento de condiciones hídricas y de situaciones de riesgo de inundaciones. La posibilidad de cálculo del Índice para diferentes escalas de tiempo en cuanto a la acumulación de la precipitación, amplía su capacidad de análisis dado que permite valorar distintos estados de humedad de los suelos. Mientras que las escalas más cortas (3, 6 meses) cuantifican la humedad más superficial del suelo, de significancia directa para la agricultura, las escalas más largas de acumulación (12, 24 meses) son indicadoras del estado del agua subsuperficial. La consideración conjunta de distintas escalas de ISP en el análisis, contribuyó a una explicación satisfactoria de las situaciones de riesgo previo a cada una de las inundaciones ocurridas.

BIBLIOGRAFIA

- HAYES, M. J., M.D. SVOBODA, D.A. WILHITE and O. V. VANYARKHO. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 80:429-438.
- KARL, T. R. and R. W. KNIGHT. 1998. Secular trends of precipitations amount, frequency, and intensity in the United States. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 79:231-241.
- KOMUSCU, A. U. 1999. Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. Drought network news, 7 – 13. Int. Drought Information Center, Univ. of Nebraska.
- MCKEE, T. V., N.J. DOESKEN and J. KLEIST. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. On Appl. Climatology, Anaheim, CA, *Am. Meteor. Soc.*, 174-184.
- MCKEE, T. V., N.J. DOESKEN and J. KLEIST. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, Ninth Conf. On Appl. Climatology, Dallas, TX, *Am. Meteor. Soc.*, 233-236.
- PRESIDENCIA DE LA NACION. 1998. Informe situación inundaciones provincias del Litoral. Informe Jefatura de Gabinete de Ministros. Buenos Aires, Argentina. 117 pgs.
- WILHITE, D. A., 1996. A methodology for drought preparedness. *Natural Hazards*, 13: 229 – 252.