

Evaluación de una metodología de pronóstico estadístico para la condición hídrica del suelo en la región pampeana argentina

Serio, L.; P. Martin y G. Murphy

RESUMEN

Una de las herramientas disponibles para el monitoreo de sequías y excesos de humedad en el suelo es el índice estandarizado de precipitación (SPI). Desde hace 3 años se ha implementado una metodología de monitoreo y predicción estadística mensual del SPI en la región pampeana de la Argentina. El objetivo de este trabajo fue hacer una evaluación de esos pronósticos. En primer lugar, se describen la metodología de cálculo del SPI y los aspectos considerados para emitir los pronósticos. Luego se presentan los resultados de la evaluación mediante tablas de contingencia. Se obtuvo un porcentaje de acierto en la categoría del SPI pronosticada del 78%, a nivel general para toda la región, y un coeficiente de contingencia de 0,65.

Palabras clave: sequías, excesos hídricos, región pampeana, probabilidades, pronóstico

Serio, L.; P. Martin and G. Murphy, 2010. Evaluation of a statistical forecasting method for the soil water condition in the Argentinean pampas region. Agriscientia XXVII: 11-17

SUMMARY

One of the available tools for monitoring soil dryness and excessive wetness is the Standardized Precipitation Index (SPI). Three years ago, a methodology for monitoring and monthly statistical prediction of the SPI in the Pampas region of Argentina was put into operation. The aim of this paper is to evaluate these forecasts. First, the SPI calculation methodology is described, and so are those aspects taken into account in order to issue the forecasts. Then, some results of the evaluation by means of contingency tables are shown. Considering the

whole region, the percentage of success for the predicted SPI category was 78 % and the contingency coefficient was 0.65.

Key words: drought, wetness excess, Pampas region, probability, forecast

L. Serio y G. Murphy. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453 – (C1417DSE) Ciudad de Buenos Aires, Argentina. P. Martín. Depto. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEN, UBA) y Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa, República Argentina. Correspondencia a L. Serio: serio@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

La región pampeana es una amplia planicie de clima subtropical húmedo y templado que contiene la principal área de producción de cultivos de granos de la Argentina. Dicha producción se obtiene casi exclusivamente en condiciones de secano, y por ello los rendimientos tienen una fuerte dependencia de la disponibilidad de agua almacenada en el suelo (Forte Lay *et al.*, 2007; Hurtado *et al.*, 2009) durante los períodos de mayor susceptibilidad de los cultivos, momento en que se define la magnitud de éstos.

Las precipitaciones anuales medias decrecen desde 1200 mm en el noreste de la región hasta 500 mm en el sudoeste (Murphy *et al.*, 2008). Éstas suelen ser más abundantes durante el semestre más cálido (octubre-marzo) y tienen una gran variabilidad interanual. En consecuencia, el monitoreo de la situación hídrica y la estimación a futuro de la probable disponibilidad de agua resultan de gran utilidad en la detección temprana de deficiencias y excesos hídricos. Este tipo de previsión puede ayudar a reducir daños y pérdidas económicas a particulares y empresas, como también a una más eficiente asignación de recursos económicos por parte del Estado.

El índice estandarizado de precipitación (SPI) (McKee *et al.*, 1993) ha demostrado su versatilidad tanto para el monitoreo de sequías como para el de períodos de excesos hídricos, en distintas escalas de tiempo. Este índice relaciona la precipitación acumulada durante un cierto período de tiempo con la distribución estadística de las precipitaciones históricas registradas en el lugar. La magnitud del índice es una medida probabilística de la severidad de cualquier evento (húmedo o seco), que puede ser utilizado para estimar riesgos. Las series temporales del SPI pueden usarse para monitoreo de episodios

anómalos, estableciendo categorías y valores umbrales específicos para cada aplicación, que permitan definir los momentos de inicio y fin del episodio.

Debido a su naturaleza probabilística, el SPI se ha convertido en el índice ideal para hacer análisis de riesgo de condiciones hídricas extremas (Guttman, 1999; Steinemann, 2003) e informar la probable evolución futura de la situación hídrica (Paulo *et al.*, 2005; Moreira *et al.*, 2006; Cancelliere *et al.*, 2007). En la Argentina, el SPI ha sido utilizado para analizar extremos hídricos en el sudoeste de la región pampeana (Scian, 1997), en la provincia de Córdoba (Seiler *et al.*, 2002), en el Litoral (Almeira *et al.*, 2004) y en la ciudad de Buenos Aires (Núñez *et al.*, 2005). En la Facultad de Agronomía de la UBA, a través del Centro de Información Agroclimática (CIAG), se ha implementado desde 2006 una metodología de monitoreo y predicción estadística del SPI en la región pampeana (Murphy y Serio, 2006), con actualización mensual en la Internet.

El objetivo de este trabajo es hacer una evaluación de los pronósticos estadísticos de la situación hídrica, expresada a través del SPI, que fueron emitidos para la región pampeana de la Argentina entre marzo de 2006 y febrero de 2009.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de pronóstico estadístico del SPI aplicada en este trabajo requiere de información climática sobre la distribución de frecuencias mensuales y trimestrales de precipitación y datos actuales de precipitación mensual. Se utilizaron datos de 42 localidades de la región pampeana (Figura 1), de las cuales 34 corresponden a estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y las 8 restantes al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Además, se

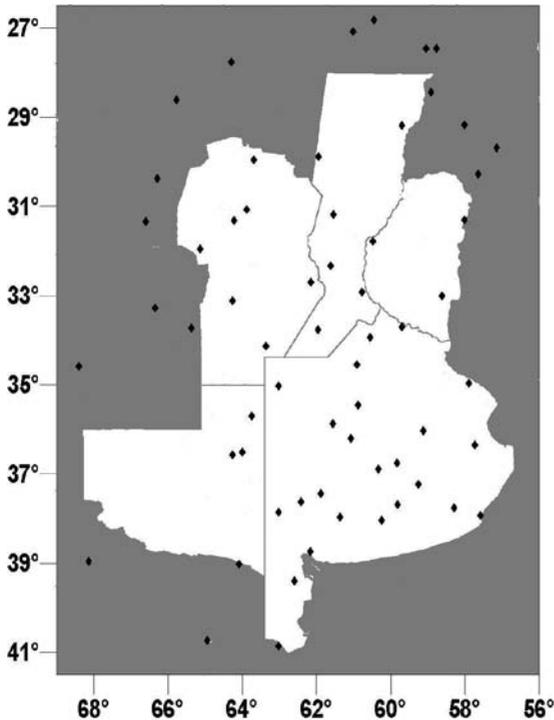


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.

utilizaron datos de otras 19 localidades fuera de la región considerada, con el fin de determinar las condiciones de borde para el trazado de mapas. Se consideró como período base para el ajuste de las distribuciones de frecuencia la serie de precipitaciones mensuales del período 1971-2000. Para el monitoreo de la situación hídrica, su pronóstico y posterior verificación se utilizaron los datos del período enero 2006 – marzo 2009.

El primer paso fue seleccionar una función de densidad de probabilidad que se ajuste a la distribución de frecuencias de las precipitaciones observadas. Debido a la natural variabilidad de las precipitaciones y a su distribución asimétrica respecto de los valores medios, es que la distribución de frecuencias requiere ser aproximada mediante funciones teóricas distintas de la normal o de Gauss (Juras, 1994). La función de distribución Gamma (Thom, 1958) es la más comúnmente utilizada con estos fines. La función de distribución de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}; \text{ (para } x > 0) \quad (1)$$

donde α y β son las constantes a ser ajustadas, llamadas respectivamente parámetros de forma y

de escala. $\Gamma(\alpha)$ está dada por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

Las principales ventajas de la distribución Gamma respecto de otras, como la de Gauss, son: i) que se adapta fácilmente a todo tipo de asimetrías; y ii) que está definida sólo para valores positivos de la variable x . Esto la hace apta para representar frecuencias de precipitación.

Para el ajuste de las distribuciones de frecuencia, de cada mes del año y de las 42 localidades, se aplicó el método de máxima verosimilitud (Thom, 1966), de acuerdo al siguiente algoritmo:

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} A}}{4 A} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (4)$$

donde $A = \frac{\ln(\bar{x})}{\ln(x)}$, x es la precipitación observada y la barra superior indica el promedio temporal. Dado que la función Gamma está definida sólo para valores estrictamente mayores que cero, en el algoritmo de cálculo se incorporó la condición de reemplazar los valores nulos por 0,01. La elección de este valor no fue arbitraria, ya que en los registros de precipitación se considera nulo cualquier valor inferior a 0,1 mm. Este algoritmo ha sido aplicado por los autores en trabajos previos (Murphy y Serio, 2006; Serio *et al.*, 2007; Serio y Murphy, 2008). La significancia estadística de los ajustes fue evaluada mediante el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (Devore, 2001), aplicado a la diferencia entre las ojivas de frecuencia acumulada observada y teórica, en el punto de la distribución donde esa diferencia es máxima.

Como se mencionó anteriormente, el SPI puede calcularse sobre la base de precipitaciones acumuladas en distintos períodos de tiempo. En este trabajo, se lo aplica como un indicador agroclimático de la situación hídrica. En ese sentido, Lloyd-Hughes & Saunders (2002) recomendaron utilizar el período de acumulación de 3 meses, ya que refleja muy bien el contenido de humedad del suelo disponible para los cultivos. Por lo tanto, a partir de las series de precipitación mensual (PP) se construyeron las nuevas series de precipitación acumulada trimestral (PP3), sumando a la precipitación de cada mes la registrada en los 2 meses previos:

$$PP3(i) = PP(i) + PP(i-1) + PP(i-2) \quad (5)$$

Al igual que se hizo previamente con las mensuales, a las precipitaciones trimestrales se les realizó también el ajuste de su distribución de frecuencias a la función Gamma. Una vez conocidas estas distribuciones teóricas, a partir de ellas se determinaron (para cada mes y localidad) los rangos de PP3 correspondientes a cada una de las ocho categorías en que se clasifica el SPI, según la clasificación propuesta por Lloyd-Hughes y Saunders (2002), presentada en la Tabla 1. Esta clasificación es la que se utiliza para el monitoreo mensual de la situación actual. Conocidos esos rangos, y con los datos actuales de precipitación acumulada en los dos meses anteriores (PP(i-2) y PP(i-1)), se determinan los valores umbrales de precipitación del mes actual (PP(i)), que deberían ocurrir para que el SPI sea clasificado en cada categoría. Finalmente, se determina la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos, a partir de la función Gamma ajustada a la serie de precipitaciones del mes y la localidad en cuestión.

Para efectuar los pronósticos, las categorías son agrupadas en tres rangos: seco (SPI \leq -1), normal (-1 < SPI < 1) y húmedo (SPI \geq 1). Los mapas de isoyetas conteniendo los umbrales de precipitación trimestral que delimitan estas categorías fueron publicados por Serio y Murphy (2008). Mensualmente, la información se presenta en cuatro mapas (Figura 2): uno de ellos con la distribución geográfica del SPI actual, y los otros tres con las probabilidades de que al finalizar el mes en curso se alcancen condiciones secas, normales o húmedas, respectivamente.

Para la verificación se tuvieron en cuenta los pronósticos emitidos durante 36 meses consecutivos, entre marzo de 2006 y febrero de 2009. Se utilizaron tablas de contingencia de

3x3. Como categoría “pronosticada” se consideró aquella en la que el pronóstico dio el mayor valor de probabilidad. La categoría “observada” fue la alcanzada realmente al finalizar el mes. Este análisis se hizo para cada localidad, por provincia y considerando toda la región en conjunto. Los parámetros utilizados para evaluar los pronósticos fueron el porcentaje de aciertos (coincidencia entre la categoría pronosticada y la observada) y el coeficiente de contingencia de Pearson (Wilks, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se reproduce la tabla de contingencia entre categorías del SPI pronosticadas y observadas, considerando los 36 pronósticos mensuales para las 42 localidades (1512 casos). El porcentaje general de aciertos fue del 78%. Este porcentaje no mostró variación en relación con la categoría pronosticada.

En el análisis efectuado agrupando los casos por provincias (Tabla 3) se consideró el porcentaje de aciertos y el coeficiente de contingencia. El

Tabla 2. Tabla de contingencia de categorías del SPI pronosticadas vs. observadas, considerando los 36 pronósticos mensuales para 42 localidades. a: porcentaje de aciertos según categoría pronosticada.

		OBSERVADO			a (%)
		SECO	NORMAL	HUMEDO	
PRONOSTICO	SECO	336	87	3	78,9
	NORMAL	159	777	63	77,8
	HUMEDO	0	18	68	79,1

Tabla 1. Condición hídrica según rangos del SPI definidos por Lloyd-Hughes y Saunders (2002) (L-HyS), su probabilidad de ocurrencia y categorías definidas para este trabajo.

Rango SPI	Categoría (según L-HyS)	Probabilidad (%)	Categoría agrupada
> 2,00	Extremadamente húmedo (XH)	2,3	
1,50 a 1,99	Muy húmedo (YH)	4,4	Húmedo (H)
1,00 a 1,49	Moderadamente húmedo (MH)	9,2	
0,00 a 0,99	Ligeramente húmedo (LH)	34,1	
-0,99 a 0,00	Ligeramente seco (LS)	34,1	Normal (N)
-1,49 a -1,00	Moderadamente seco (MS)	9,2	
-1,99 a -1,50	Muy seco (YS)	4,4	Seco (S)
< -2,00	Extremadamente seco (XS)	2,3	

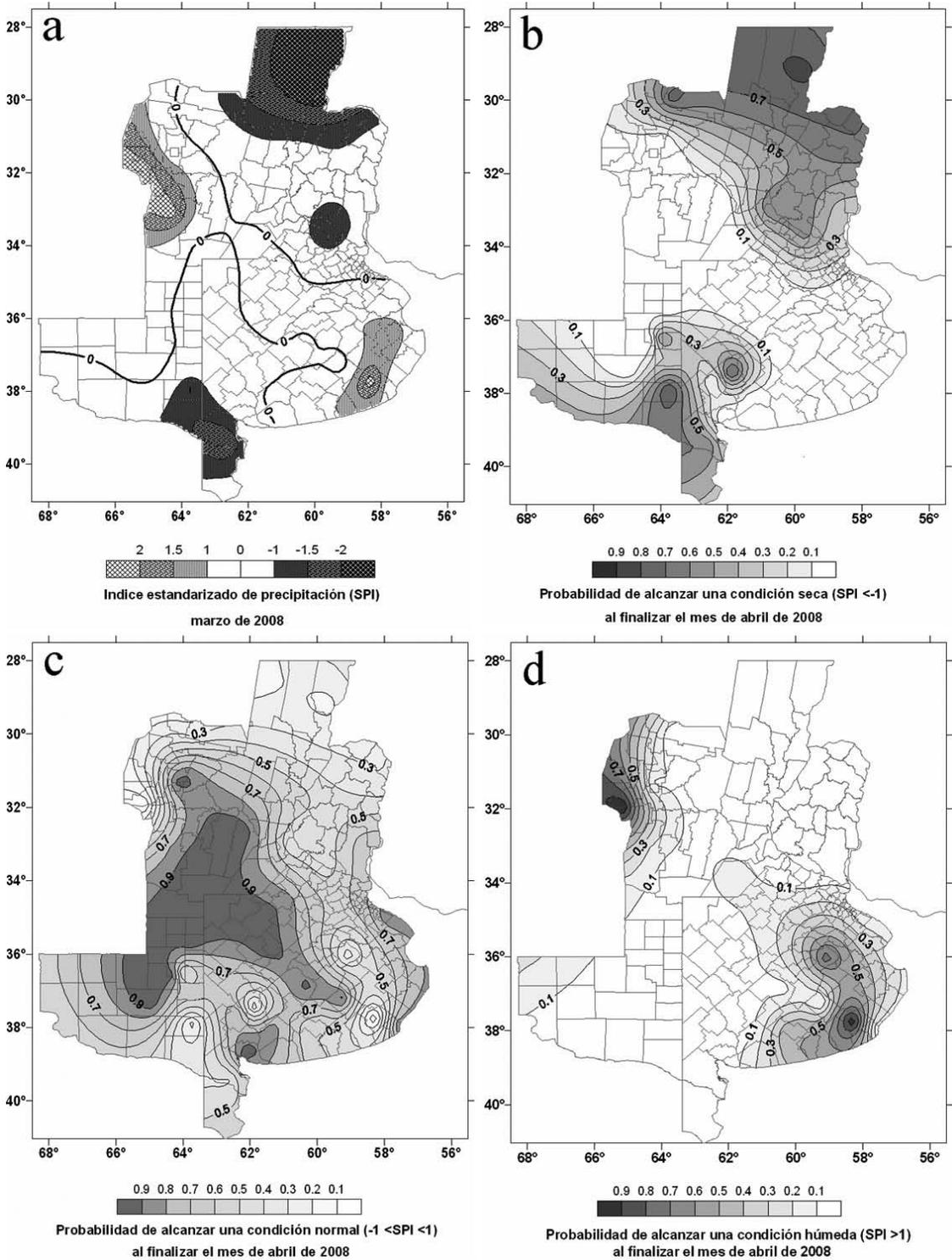


Figura 2. Ejemplo de presentación de la información mensual del SPI. Distribución espacial del SPI en marzo de 2008 (a), y probabilidades de alcanzar condiciones secas (b), normales (c) o húmedas (d) al finalizar abril de 2008.

Tabla 3. Resultados de la evaluación de los pronósticos por provincia. N: número de estaciones; a: porcentaje de aciertos; C: coeficiente de contingencia.

PROVINCIA	N	a (%)	C
Buenos Aires	23	78,7	0,63
Córdoba	7	80,1	0,70
Entre Ríos	3	72,2	0,64
La Pampa	3	81,5	0,64
Santa Fe	6	75,0	0,60
Toda la región	42	78,2	0,65

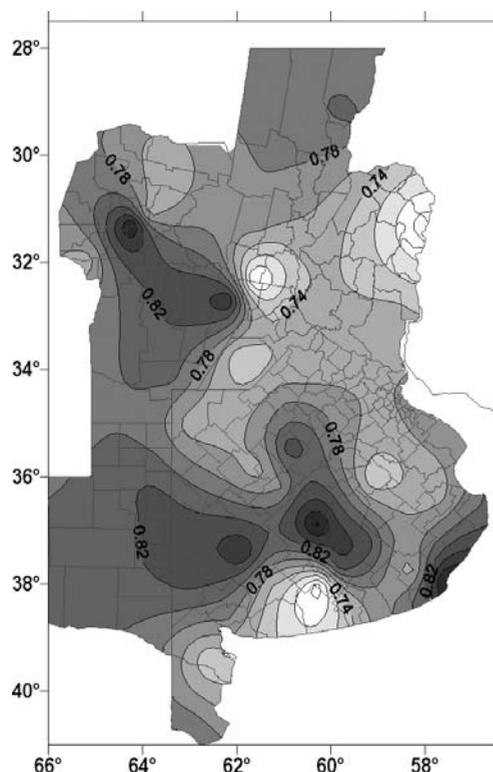


Figura 3. Distribución espacial del porcentaje de aciertos para los pronósticos mensuales de la condición hídrica del suelo mediante el SPI, emitidos entre marzo de 2006 y febrero de 2009.

primero de estos índices varió entre 72,2% en Entre Ríos y 81,5% en La Pampa. El coeficiente de contingencia (C) varió entre 0,60 y 0,70, valores obtenidos para las provincias de Santa Fe y Córdoba, respectivamente. Al considerar toda la región en conjunto el valor obtenido de C fue 0,65. Cabe destacar que este coeficiente tiene un valor mínimo de cero (el cual indica la inexistencia de asociación entre los datos) y un máximo de 0,82

para tablas de contingencia de 3x3. Los valores obtenidos indican un alto nivel de asociación.

Considerando cada localidad por separado, los porcentajes de acierto variaron entre 67 y 89% (figura 3). La mayor efectividad de los pronósticos se logró en la ciudad de Córdoba Mar del Plata y Olavarría (Bs.As), mientras que el menor porcentaje de aciertos se obtuvo en Concordia (Entre Ríos), El Trébol (Santa Fe) y Tres Arroyos (Bs.As). Esta distribución no presenta un patrón geográfico definido que permita distinguir sub-regiones más aptas que otras para la aplicación de esta metodología de pronóstico.

CONCLUSIONES

Se obtuvo un alto grado de concordancia entre la situación hídrica señalada como más probable, pronosticada con un mes de antelación, y la situación real observada luego. No se observó ningún tipo de sesgo en cuanto al porcentaje de aciertos según la categoría pronosticada, como así tampoco zonas más favorables que otras dentro de la región pampeana para el monitoreo y pronóstico de la situación hídrica del suelo mediante el SPI.

Esta evaluación refuerza la posición del índice estandarizado de precipitación como una herramienta adecuada no sólo para el monitoreo de sequías, como fuera originalmente desarrollado, sino también para los excesos y para la previsión de la evolución temporal de ambos tipos de anomalías.

El método de pronóstico propuesto es puramente estadístico. No tiene en cuenta los posibles sesgos en la distribución de frecuencia de las precipitaciones, causados por los distintos forzantes del clima a escala estacional, como el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur u otros patrones de variabilidad climática.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto UBACyT G078 (2008-2010). Los autores agradecen al Servicio Meteorológico Nacional por la información brindada para realizar el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeira, G.; H. Ciappesoni y B. Scian, 2004. Índice de Precipitación Estandarizado: una aplicación en el Litoral argentino. Actas, X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. pp 165-166.

- Cancelliere, A.; G. Di Mauro, B. Bonaccorso and G. Rossi, 2007. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resources Management* 21: 801-819.
- Devore J. L., 2001. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Thomson Learning, México. 762 pp.
- Forte Lay, A.; O. Scarpati, L. Spescha and A. Capriolo, 2007. Drought risk in the Pampean region (Argentina) using soil water storage analysis. In: Environmental change and rational water use. O. Scarpati and J. Jones (Eds.). Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, pp. 169-188.
- Guttman, N.B., 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculating algorithm. *Journal of the American Water Research Association* 35: 311-323.
- Hurtado, R.; A. Faroni, G. Murphy, L. Serio y M.E. Fernández Long, 2009. Deficiencia de agua en el suelo crítica para el rendimiento del trigo en la Región Pampeana argentina. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 29 (1): 1-12.
- Juras, J., 1994. Some common features of probability distributions for precipitation. *Theoretical and Applied Climatology* 49: 69-76.
- Lloyd-Hughes B. and M. Saunders, 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology* 22: 1571-1592.
- McKee T.B.; N.J. Doesken and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California. pp. 179-184.
- Moreira E.; A.A. Paulo; L.S. Pereira and J.T. Mexia, 2006. Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models. *Journal of Hydrology* 33: 349-359.
- Murphy, G. (ed.), R. Hurtado, M.E. Fernández Long, L. Serio, A. Faroni, L. Spescha, S. Maio y I. Barnatán; 2008. Atlas Agroclimático de la Argentina. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 160 pp.
- Murphy G. y L. Serio (*ex aequo*), 2006. Cálculo de la probabilidad mensual de alcanzar distintas categorías de sequías definidas por medio del Índice Estandarizado de Precipitación. Actas, XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata, Buenos Aires, Argentina. pp. 72-73.
- Núñez, S.; L. Núñez; G. Podestá y M. Skansi, 2005. El Índice de Precipitación Estandarizado como herramienta para la caracterización y el monitoreo de la sequía: una prueba de concepto. Actas, IX Congreso Argentino de Meteorología. Publicado en CD-ROM por Centro Argentino de Meteorólogos, Buenos Aires, Argentina.
- Paulo, A.A.; E. Ferreira; C. Coelho and L.S. Pereira, 2005. Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning. *Agricultural Water Management* 77: 59-81.
- Scian, B., 1997. Comparación entre el índice de precipitación estandarizado y otros índices hidrológicos para la región pampeana. *Meteorologica* 22: 37-47.
- Seiler R.A.; M. Hayes and L. Bressan. 2002. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *International Journal of Climatology* 22: 1365-1376.
- Serio, L. y G. Murphy, 2008. Umbrales de precipitación para distintas categorías del Índice Estandarizado de Precipitación en la región pampeana. *Revista Argentina de Agrometeorología* 7-8 (en prensa).
- Serio, L.; G. Murphy; R. Hurtado y L. Spescha. 2007. El Índice Estandarizado de Precipitación y las Lluvias de Verano en la Región Pampeana. Actas I Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Maracay, Venezuela.
- Steinemann, A., 2003. Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation. *Journal of the American Water Research Association* 39: 1217-1233.
- Thom, H., 1958. A note on the Gamma distribution. *Monthly Weather Review* 86: 117-122.
- Thom, H., 1966. Some methods of climatological analysis. WMO Technical Note 81. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 53 pp.
- Wilks, D., 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*. Academic Press, San Diego, CA. 627 pp.