

## **EVENTOS SECOS Y HUMEDOS DEL REGIMEN DE PRECIPITACIONES DE LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE SANTA FE**

**GASTALDI, L. B. <sup>1</sup> & QUAINO, O. <sup>1</sup>**

### **RESUMEN**

El objetivo en este trabajo fue analizar la climatología de eventos secos y húmedos del centro de la provincia de Santa Fe. Se utilizaron datos mensuales de precipitaciones de 6 localidades, desde enero de 1973 hasta diciembre de 2008 inclusive. Se empleó el índice de precipitaciones estandarizado para una escala temporal de tres meses. Se encontró que la intensidad de los eventos extremos de sequía y humedad difiere entre localidades así como también la periodicidad con que se registran. Se obtuvieron evidencias de un aumento de la variabilidad en los últimos años, con un predominio de eventos extremos de sequía respecto a los de humedad.

*Palabras clave:* eventos de sequías, eventos de humedad, centro de la provincia de Santa Fe, índice de precipitación estandarizado.

### **SUMMARY**

#### **Dry and wet periods in the central of Santa Fe province.**

The goal of this paper was evaluated the climatology of dry and wet periods in the central of Santa Fe province. We used monthly rainfalls of 6 cities, since January 1973 to December 2008. We estimated the standardized precipitation index on 3-month time scale. The intensity and periodicity of the extreme events (dry or wet) are different between cities. The variability was increase in the last years and dry periods are more frequently.

*Key words:* dry periods, wet periods, central of Santa Fe province, standardized precipitation index.

---

1.- Inta EEA Rafaela. C.C. 22 (2300) Rafaela, provincia de Santa Fe.

Email: [lgastaldi@rafaela.inta.gov.ar](mailto:lgastaldi@rafaela.inta.gov.ar)

Manuscrito recibido el 3 de septiembre de 2009 y aceptado para su publicación el 23 de noviembre de 2009.

## INTRODUCCIÓN

Recientemente se presentó una propuesta de seguro paramétrico para empresas tamberas de la provincia de Santa Fe, para cubrir las pérdidas que ocasionan los eventos extremos de humedad o sequía indicados por el índice de precipitaciones estandarizado (Gastaldi *et al.*, 2008). Sin embargo, no se ha evaluado la climatología de dicha región utilizando el índice mencionado.

El índice de precipitaciones estandarizado (IPE) fue desarrollado por Mc.Kee *et al.* (1993), para monitorear las condiciones de sequía en el Estado de Colorado, en los Estados Unidos de América. Ha sido utilizado en estudios de sequía en distintos países de América (Hayes *et al.*, 1999) y Europa (Lloyd-Hughes y Saunders, 2002), siendo empleado para el monitoreo de eventos de sequía en EEUU (<http://www.wrcc.dri.edu/>) y Canadá (<http://www.agr.gc.ca/pfra/drought/>).

En Argentina el IPE fue usado por Coronel y Sacchi (2006) para evaluar la climatología de eventos secos y húmedos en el sur de la provincia de Santa Fe, mientras que Seiler *et al.* (2002) lo emplearon como indicador de eventos de inundación ocurridos en el sudoeste de la provincia de Córdoba. Skansi *et al.* (2006) hicieron lo propio, evaluando el comportamiento de las precipitaciones de diferentes localidades de las provincias de Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y Buenos Aires.

A partir del año 2002, el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba ([www.crean.unc.edu.ar](http://www.crean.unc.edu.ar)) ha implementado este producto en forma mensual para el monitoreo de sequías de localidades de la región central de Argentina. Desde el año 2006, también es utilizado por el Servicio Meteorológico Nacional ([www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar)) para el seguimiento de las

condiciones de sequía y humedad de la región pampeana, con la intención de calcularlo en un futuro cercano para todo el país.

El objetivo en este trabajo es analizar la climatología de eventos secos y húmedos a partir del índice de precipitaciones estandarizado, de localidades santafesinas consideradas como potenciales sitios de difusión del seguro para empresas tamberas.

Los resultados de este análisis permitirán evaluar la factibilidad de utilizar el índice de precipitaciones estandarizado como disparador de un seguro paramétrico para empresas tamberas. Adicionalmente, se presentará información histórica del comportamiento de las precipitaciones en el centro de la provincia de Santa Fe, de utilidad para la planificación de actividades vinculadas con el sector agropecuario.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *El índice de precipitaciones estandarizado*

Este indicador se calcula a partir del ajuste de una serie mensual de precipitaciones, para la escala de tiempo de interés, a una función de distribución Gamma, cuya función de densidad de probabilidad se define como:

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

Donde  $\alpha > 0$  es el parámetro de forma y  $\beta > 0$  es el parámetro de escala. Finalmente, la cantidad  $\Gamma(\alpha)$  es la función Gamma, que se define como:

$$\Gamma(\alpha) = \lim_{n \rightarrow \infty} \prod_{v=0}^{n-1} \frac{n! n^{v-1}}{y+v} \equiv \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

Según Edwards (1997) los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se pueden estimar usando la aproximación de Thom (1958), donde:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right]$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$$

A partir de la función de densidad de probabilidad acumulada ( $g(x)$ ) y los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , se estima la función de probabilidad acumulada ( $G(x)$ ), de la siguiente manera:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt$$

donde  $t$  es  $x/\hat{\beta}$  siendo la expresión anterior la función gamma incompleta. Dado que no está definida para  $x=0$ , cuando la precipitación es nula se procede a crear una función mixta ( $H(x)$ ) compuesta de la probabilidad de valor nulo ( $q$ ) y la probabilidad de valor no nulo ( $p$ ):

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

La distribución de probabilidad acumulada es luego transformada en una distribución normal estandarizada a partir de la cual se obtienen los valores de IPE. Para esto, Edwards (1997) emplea la conversión de Abramowitz y Stegun (1965):

$$Z = IPE = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right)$$

para  $0 < H(x) \leq 0,5$

$$Z = IPE = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right)$$

para  $0,5 < H(x) < 1$

El valor  $t$  se calcula de la siguiente manera (Edwards, 1997):

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0,5 < H(x) < 1$$

y

$$c_0 = 2,515517 \quad c_1 = 0,802853 \quad c_2 = 0,010328$$

$$d_1 = 1,432788 \quad d_2 = 0,189269 \quad d_3 = 0,001308$$

La serie de precipitación de interés depende de la escala de tiempo elegida. Por ejemplo, el IPE de un mes correspondiente a enero surge de considerar la serie histórica de precipitación para todos los eneros, en tanto que el IPE de 3 meses, para el mismo mes, se calcula en base a la serie histórica de precipitación de los trimestres que finalizan en enero, es decir, noviembre, diciembre y enero. Así sucesivamente, la escala puede ampliarse según sean los meses previos al actual que se vayan incorporando. Independientemente de la escala seleccionada, para calcular el IPE se requiere un mínimo de 30 años de precipitaciones.

Finalmente, según el valor que asuma el IPE, los eventos se categorizan en 7 clases (Cuadro 1).

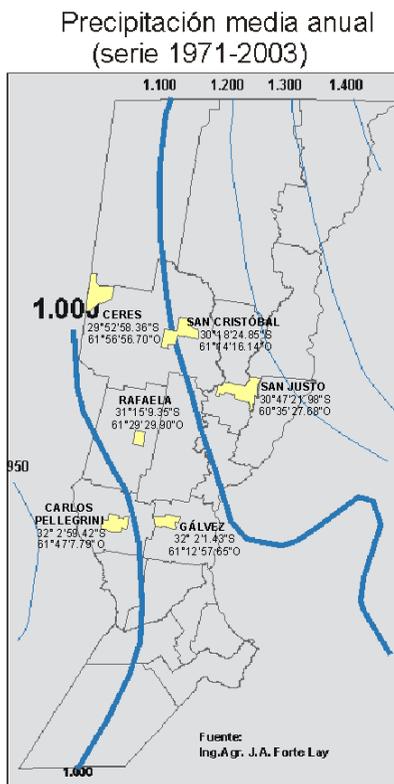
### Los datos

Se utilizaron datos mensuales de precipitaciones de 6 localidades del centro - norte de Santa Fe, ubicados entre las isohietas de 1000-1100 milímetros (mm) de lluvias promedio anuales (Fig. 1). Las series de precipitaciones se extienden desde enero de 1973 hasta diciembre de 2008 inclusive, y fueron

Cuadro 1: Categorías del índice de precipitación estandarizado (IPE)

Categorías de IPE	Rango de valores de IPE
Extremadamente húmedo	2.00 o superior
Muy húmedo	1.50 a 1.99
Moderadamente húmedo	1.00 a 1.49
Normal	0.99 a -0.99
Moderadamente seco	-1.00 a -1.49
Muy seco	-1.50 a -1.99
Extremadamente seco	-2.00 o inferior

Fuente: Adaptado de Mc.Kee et al (1993)



INTA-EEA RAFAELA-AIA-GMSRN junio 2005

Fig. 1: Puntos de pluviometría en relación con el mapa de isohietas de la Provincia de Santa Fe

proporcionadas por la Estación Experimental Agropecuaria Rafaela del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), y sus Agencias de Extensión Rural.

Es importante mencionar que desde el año 2004, existen en la zona otros 24 puntos de pluviometría pertenecientes a la Red de Información Agroeconómica Nacional (RIAN) del INTA. Estos valores no se han utilizado en este trabajo debido a que no cumplen con el requisito mínimo de 30 años de datos. Sin embargo, constituyen una fuente potencial de información climatológica del centro de Santa Fe.

### **El análisis**

El análisis realizado contempló tres etapas. En primer lugar, se calcularon medidas estadísticas de posición y dispersión de las

lluvias anuales y se evaluó la estacionalidad de las precipitaciones mediante el análisis de los índices mensuales de cada serie. Para su cálculo se siguió la metodología propuesta por Anderson *et al.* (1999), que incluye tres pasos: 1) suavizado de las series para reducir las fluctuaciones aleatorias causadas por el componente irregular, lo cual se efectuó mediante promedio móvil centrado; 2) cálculo del componente estacional de cada observación y 3) promediado de los componentes estacionales de las observaciones correspondientes al mismo mes para obtener el índice mensual.

Seguidamente, se estimó el IPE para una escala temporal de 3 meses (cuadro 2) considerando que un déficit o exceso de precipitación a partir de dicha duración de tiempo tiene consecuencias significativas en la pro-

IPE3	Período de tiempo (meses)
IPE3 enero	noviembre-diciembre-enero
IPE3 febrero	diciembre-enero-febrero
IPE3 marzo	enero-febrero-marzo
IPE3 abril	febrero-marzo-abril
IPE3 mayo	marzo-abril-mayo
IPE3 junio	abril-mayo-junio
IPE3 julio	mayo-junio-julio
IPE3 agosto	junio-julio-agosto
IPE3 septiembre	julio-agosto-septiembre
IPE3 octubre	agosto-septiembre-octubre
IPE3 noviembre	septiembre-octubre-noviembre
IPE3 diciembre	octubre-noviembre-diciembre

*Cuadro 2: Índice de precipitación estandarizado para una escala temporal de 3 meses (IPE3). Período de tiempo (meses) comprendido en cada trimestre*

ducción agropecuaria (Coronel y Sacchi, 2006; Bonaccorso *et al.* 2003).

Se categorizaron los valores de IPE3 según las clases presentadas en el Cuadro 1, y a partir del cálculo de frecuencias absolutas y relativas se estableció la probabilidad de ocurrencia de las diferentes categorías de eventos.

Finalmente, y con la finalidad de evaluar la existencia de dependencia espacial de las precipitaciones, se realizó análisis de correlación entre los IPE3 de cada mes y los puntos de pluviometría (localidades), considerando aquellas relaciones con un p-valor menor a 0,05. Se utilizó el software estadístico INFOSTAT (2007).

## RESULTADOS

En el Cuadro 3 se presentan medidas descriptivas de los datos utilizados. En concordancia con las isohietas presentadas en la figura 1, el régimen anual de lluvias, expresado como promedio de la serie 1973-2008, es menor en las localidades del oeste del área analizada (Ceres) respecto a las ubicadas en el sector oriental (San Cristóbal).

Las lluvias varían entre años, alternando-

se períodos más húmedos y más secos en relación con el promedio anual de la serie 1973-2008. En la figura 2 se exponen, para los puntos de pluviometría analizados, las precipitaciones correspondientes a cada año de la serie y la línea de tendencia asociada. Los coeficientes asociados a las pendientes de las distintas rectas fueron negativos, excepto en la localidad de Gálvez. Sin embargo, estadísticamente sólo resultó significativa la reducción anual del régimen de lluvias de San Cristóbal ( $p < 0,05$ ).

En el Cuadro 4 se muestran los índices mensuales de las series de precipitaciones de cada localidad y la correspondiente distribución estacional. Por lo general, las lluvias se concentran en el verano, siendo marzo el mes de mayores registros. En dicho mes y en abril se definen las reservas de agua en el perfil de suelo para el período seco invernal. En las localidades ubicadas al oeste del área analizada (Ceres y Carlos Pellegrini), también resulta relevante en cuanto al volumen mensual de precipitaciones el mes de diciembre.

La estacionalidad es variada entre las localidades aunque parece existir un patrón de crecimiento en sentido sudeste a noroeste. Al respecto, mientras que en Gálvez la distribución porcentual fue del 36%, 18%, 11% y

*Cuadro 3. Régimen anual de precipitaciones de localidades de la provincia de Santa Fe. Estadísticos de posición y dispersión*

Localidad	Ceres	San Cristóbal	San Justo	Rafaela	Carlos Pellegrini	Gálvez
Régimen anual de precipitaciones (milímetros)						
1973-2008						
Promedio	956	1.126	1.171	1.035	1.043	1.002
Mínimo	453	628	790	636	645	599
Máximo	1.420	1.694	1.869	1.890	1.449	1.428
Desvío estándar	207	249	230	271	231	219

35% para el verano, otoño, invierno y primavera respectivamente, en Ceres la amplitud entre el verano y el invierno fue más amplia (42% y 7%).

A continuación, se presentan las frecuencias absolutas y relativas de las categorías de IPE3 de los puntos de pluviometría analizados (cuadro 5). En promedio, los eventos extremos de sequía fueron más frecuentes que los eventos extremos de humedad en

toda la zona estudiada, con valores de 2,4% y 1,9% respectivamente. Este comportamiento parece deberse a la mayor proporción de sequías extremas producidas en Ceres, San Justo y Carlos Pellegrini. En las localidades restantes (Rafaela, San Cristóbal y Gálvez), la relación de eventos extremos de sequía y humedad fue coincidente.

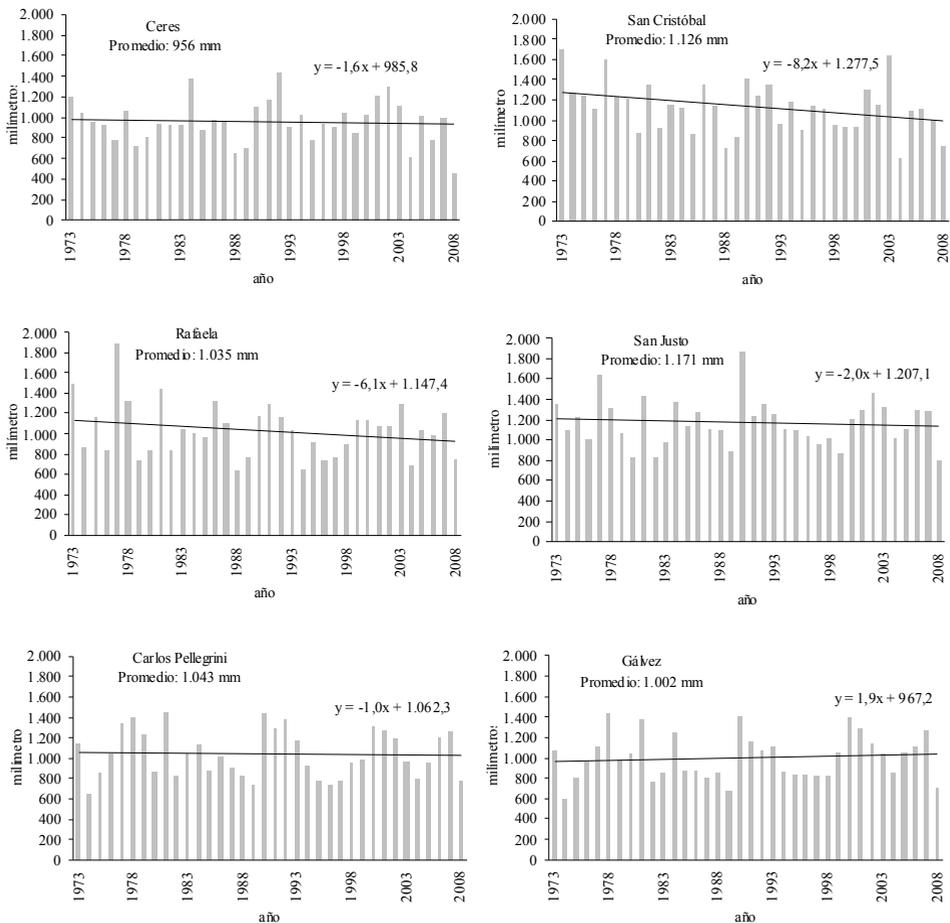


Fig. 2: Régimen anual de precipitaciones de localidades de la provincia de Santa Fe. Línea de tendencia de la serie 1973-2008

La diferencia entre la cantidad de eventos extremos de sequía y de humedad fue más amplia en Ceres ( $12 - 7 = 5$ ) y Carlos Pellegrini ( $10 - 5 = 5$ ) respecto a lo que se registró en San Justo ( $12 - 10 = 2$ ). Este comportamiento posiblemente se asocia con el patrón de crecimiento de las precipitaciones, que es en sentido oeste-este. De esta manera, las localidades ubicadas al oeste del área analizada tendrían mayor probabilidad de sufrir eventos extremos de sequía respecto a la probabilidad de padecer eventos extremos de humedad. Sin embargo, considerando que en Rafaela no ocurrió lo mismo, dado que la proporción de eventos extremos de humedad y

de sequía fue la misma, esta hipótesis debería ser sometida a prueba.

La propuesta de seguros para empresas tamberas se centraliza en los eventos extremos de sequía y humedad, cuyo calendario mensual de ocurrencia puede ser consultado en la figura 3. Por su parte, en el Cuadro 6 se presentan estadísticas asociadas a los mismos. La primera parte del cuadro corresponde a los eventos extremos de sequía y la segunda a los de humedad extrema. Al principio de cada una de estas partes se señalan el número total de eventos, el valor medio del IPE3, el máximo absoluto y el desvío estándar.

*Cuadro 4. Estacionalidad de las precipitaciones de localidades de la provincia de Santa Fe. Serie 1973 a 2008*

Localidad	Ceres	San Cristóbal	San Justo	Rafaela	Carlos Pellegrini	Gálvez
Serie 1973-2008	80	94	98	86	87	83
<i>Mes</i>	Índice mensual					
Enero	1,57	1,59	1,47	1,45	1,54	1,46
Febrero	1,54	1,53	1,53	1,42	1,39	1,24
Marzo	1,95	1,74	1,65	1,81	1,75	1,64
Abril	1,26	1,35	1,34	1,25	1,00	1,08
Mayo	0,47	0,49	0,68	0,62	0,56	0,71
Junio	0,25	0,38	0,38	0,38	0,36	0,33
Julio	0,20	0,24	0,26	0,23	0,28	0,34
Agosto	0,23	0,28	0,31	0,25	0,31	0,34
Septiembre	0,44	0,59	0,63	0,52	0,57	0,63
Octubre	1,07	1,02	1,01	1,03	1,23	1,25
Noviembre	1,33	1,24	1,37	1,48	1,31	1,47
Diciembre	1,70	1,56	1,39	1,57	1,69	1,47
<i>Estación</i>	Distribución trimestral (milímetros)					
Verano (ene-feb-mar)	404	455	453	404	406	362
Otoño (abr-may-jun)	157	209	234	194	166	177
Invierno (jul-ago-set)	70	104	117	87	101	109
Primavera (oct-nov-dic)	327	358	368	352	368	350
	Distribución trimestral (porcentaje)					
Verano (ene-feb-mar)	42%	40%	39%	39%	39%	36%
Otoño (abr-may-jun)	16%	19%	20%	19%	16%	18%
Invierno (jul-ago-set)	7%	9%	10%	8%	10%	11%
Primavera (oct-nov-dic)	34%	32%	31%	34%	35%	35%

En relación el número total de eventos, y considerando el total de años analizados (34 años), en Ceres y San Justo se registró 1 evento extremo de sequía cada 2,83 años (34 años / 12 eventos) mientras que la periodicidad en Rafaela y San Cristóbal fue de 3,77 años (34 años / 9 eventos). Por su parte, los eventos de humedad extrema fueron menos frecuentes en Carlos Pellegrini (5 eventos en 34 años).

Pensando al valor del IPE3 como un indicador de intensidad, el evento de sequía extrema más intenso se registró en Ceres con un valor de -3,84 (mayo de 2008). En Rafaela y Gálvez estos eventos fueron en promedio más suaves, mientras que en Ceres más intensos y variables. Por su parte, la humedad extrema más aguda se registró en San Cristó-

bal con un IPE3 de 4,14 (diciembre de 2003).

Los eventos extremos se presentaron en forma aislada o consecutiva. Por ejemplo, en Ceres se registraron en total 7 eventos de humedad extrema. Seis (6) de éstos se registraron en forma aislada o fueron el primer evento de una sucesión del mismo evento, y uno (1) fue un evento extremo de humedad que había sido precedido por otro similar (IPE3 set'78-IPE3 oct'78).

Considerando todos los puntos de pluviometría, los eventos de sequía extrema se repitieron en forma consecutiva hasta un máximo de 5 veces, mientras que los de humedad extrema tuvieron una extensión máxima de 3. Lo primero se registró en Ceres en el año 2008 (desde IPE3 abr'08 hasta IPE3 set'08 inclusive). Lo segundo, ocurrió en San Jus-

*Cuadro 5. Frecuencias absolutas y relativas de los eventos del patrón de precipitaciones registrados durante el período 1973-2008, determinados mediante la categorización del índice de precipitaciones estandarizados para una escala temporal de 3 meses (IPE3)*

IPE3 categorizado (abr '73 a dic '08)	Ceres	San Cristóbal	San Justo	Rafaela	Carlos Pellegrini	Gálvez	Total
	Frecuencia absoluta						
Sequía extrema	12	9	12	9	10	10	62
Sequía severa	16	19	17	14	24	20	110
Sequía moderada	38	38	35	48	36	35	230
Normal	290	301	297	288	290	294	1760
Humedad moderada	44	42	43	40	45	39	253
Humedad excesiva	22	11	15	21	19	21	109
Humedad extrema	7	9	10	9	5	10	50
	Frecuencia relativa						
Sequía extrema	2,8%	2,1%	2,8%	2,1%	2,3%	2,3%	2,4%
Sequía severa	3,7%	4,4%	4,0%	3,3%	5,6%	4,7%	4,3%
Sequía moderada	8,9%	8,9%	8,2%	11,2%	8,4%	8,2%	8,9%
Normal	67,6%	70,2%	69,2%	67,1%	67,6%	68,5%	68,4%
Humedad moderada	10,3%	9,8%	10,0%	9,3%	10,5%	9,1%	9,8%
Humedad excesiva	5,1%	2,6%	3,5%	4,9%	4,4%	4,9%	4,2%
Humedad extrema	1,6%	2,1%	2,3%	2,1%	1,2%	2,3%	1,9%



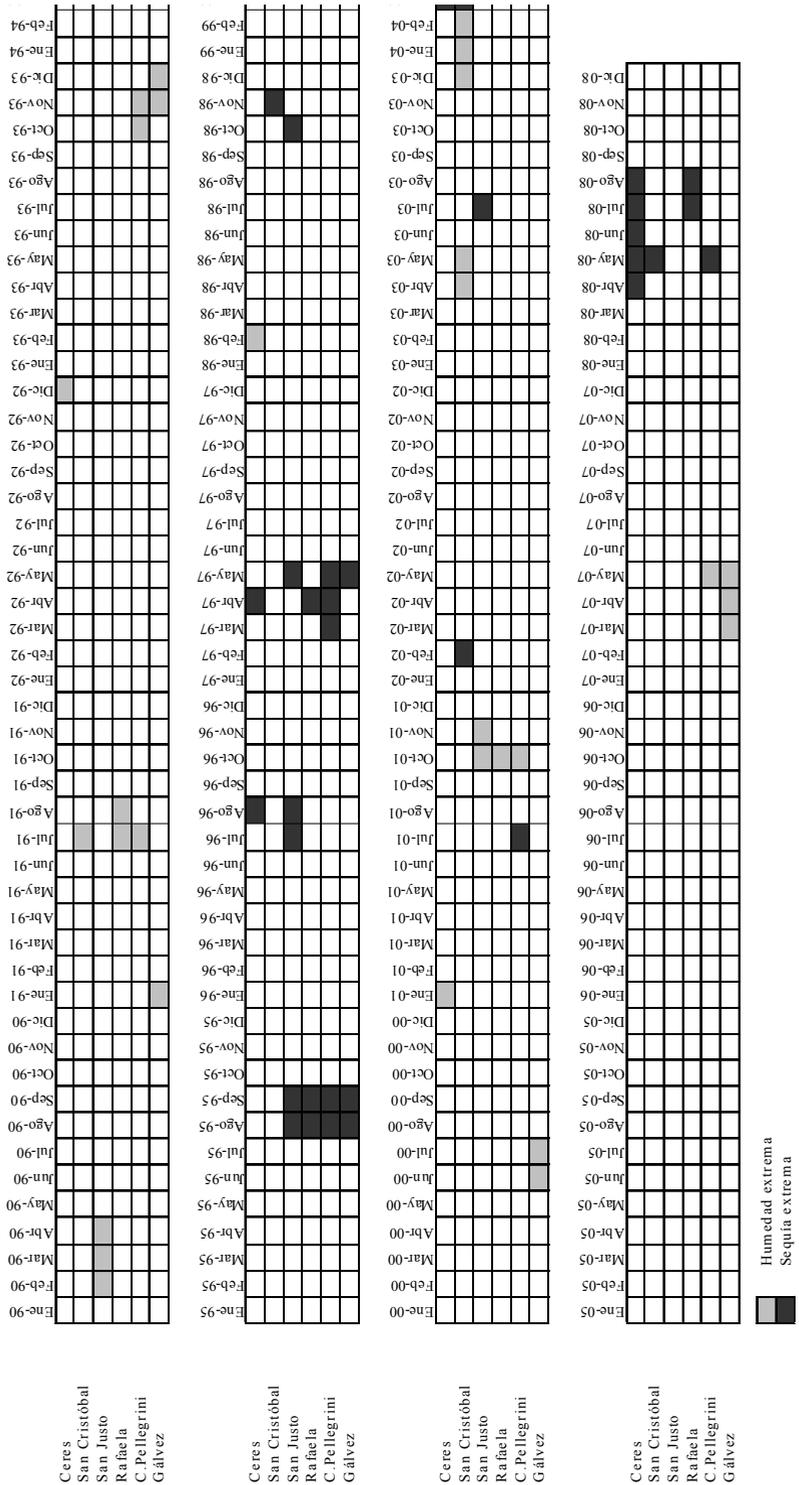


Fig. 3. (continuación). Calendario de eventos extremos de humedad y sequía por localidad, indicados por el índice de precipitaciones estandarizado de 3 meses (IPE3). Serie 1973-2008

to en 1990 (IPE3 feb'90 hasta IPE3 abr'90 inclusive) y en Gálvez en el año 2007 (IPE3 mar'07 hasta IPE3 may'07 inclusive).

En el Cuadro 7 se expone la cantidad de eventos extremos ocurridos entre 1973 y 1990 y entre 1991 y 2008; también datos relacionados con la intensidad. La partición en dos subperíodos, se realizó considerando que en

el tiempo pueden registrarse cambios en el clima, ya sea por causas naturales (variabilidad natural del clima) o debidas al hombre (cambio climático).

Según se observa en el cuadro precedente, los eventos de sequía extrema aumentaron en los últimos 18 años (1991-2008) respecto a lo ocurrido en el período 1973-1990,

*Cuadro 6: Frecuencias absolutas y relativas de los eventos extremos del patrón de precipitaciones durante el período 1973-2008, determinados mediante la categorización del índice de precipitaciones estandarizados para una escala temporal de 3 meses (IPE3)*

		Ceres	San Cristóbal	San Justo	Rafaela	Carlos Pellegrini	Gálvez
Serie 1973 - 2008							
sequía extrema (IPE = -2)	Nro total de eventos	12	9	12	9	10	10
	IPE mínimo	-3,84	-2,94	-3,09	-2,67	-3,16	-2,73
	IPE medio	-2,53	-2,42	-2,42	-2,37	-2,50	-2,33
	Desvío estándar	0,47	0,31	0,35	0,22	0,44	0,24
	1 evento aislado + 1° evento en cadena eventos	7	9	9	6	7	6
	2 eventos consecutivos	2		3	3	2	2
	3 eventos consecutivos	1				1	1
	4 eventos consecutivos	1					1
	5 eventos consecutivos	1					
	Probabilidad (nro eventos/total meses)	2,80%	2,10%	2,80%	2,10%	2,33%	2,33%
	Probabilidad evento aislado+1° cadena evento	1,63%	2,10%	2,10%	1,40%	1,63%	1,40%
	Probabilidad 2 eventos consecutivos	0,47%		0,70%	0,70%	0,47%	0,47%
	Probabilidad 3 eventos consecutivos	0,23%				0,23%	0,23%
Probabilidad 4 eventos consecutivos	0,23%					0,23%	
Probabilidad 5 eventos consecutivos	0,23%						
humedad extrema (IPE = 2)	Nro total de eventos	7	9	10	9	5	10
	IPE máximo	3,00	4,14	2,78	2,93	2,93	2,95
	IPE medio	2,43	2,77	2,34	2,40	2,37	2,23
	Desvío estándar	0,42	0,76	0,26	0,35	0,34	0,29
	1 evento aislado + 1° evento en cadena eventos	6	6	6	7	4	6
	2 eventos consecutivos	1	3	3	2	1	3
	3 eventos consecutivos			1			1
	4 eventos consecutivos						
	5 eventos consecutivos						
	Probabilidad (nro eventos/total meses)	1,63%	2,10%	2,33%	2,10%	1,17%	2,33%
	Probabilidad evento aislado+1° cadena evento	1,40%	1,40%	1,40%	1,63%	0,93%	1,40%
	Probabilidad 2 eventos consecutivos	0,23%	0,70%	0,70%	0,47%	0,23%	0,70%
	Probabilidad 3 eventos consecutivos			0,23%			0,23%
Probabilidad 4 eventos consecutivos							
Probabilidad 5 eventos consecutivos							

excepto en Gálvez donde fueron incluso de menor intensidad. La intensidad de estos eventos también se redujo en Rafaela y San Cristóbal. En las localidades restantes, las sequías extremas además de presentarse en forma más periódica fueron más intensas, lo cual explica la mayor frecuencia relativa citada en el Cuadro 5. También se hicieron más habituales los eventos extremos de humedad, registrándose al mismo tiempo un aumento del valor medio del IPE3.

En base a lo anterior, se deduce que la variabilidad de las precipitaciones se incrementó en los últimos años predominando los eventos extremos de sequía respecto a los de humedad, comportamiento que explica la tendencia decreciente de las precipitaciones anuales (Fig. 2). Por otro lado, los

eventos extremos registrados en los últimos 18 años (1991-2008) fueron por lo general más intensos en relación con los ocurridos en el subperíodo 1973-1990).

Finalmente, en el Cuadro 8 se presentan los resultados del análisis de correlación efectuado para determinar la existencia de dependencia espacial del comportamiento de las precipitaciones representadas a través del IPE3. Según el valor absoluto del coeficiente, la asociación fue más o menos fuerte, indicándose con asterisco aquellas cuya probabilidad (p-valor) asociada a la prueba de hipótesis de correlación nula fue menor al nivel de significancia seleccionado (0,05). En caso contrario, el coeficiente se presenta en letra cursiva y el casillero correspondiente a la probabilidad se encuentra punteado.

*Cuadro 7: Frecuencias absolutas de los eventos extremos de humedad y de sequía por subperíodos. Media y desvío estándar del valor del índice de precipitaciones estandarizado para una escala temporal de 3 meses (IPE3)*

Evento		Ceres	San Cristóbal	San Justo	Rafaela	Carlos Pellegrini	Gálvez
		1973-1990					
Sequía extrema	cantidad	4	3	3	2	3	6
	media	-2,30	-2,45	-2,18	-2,47	-2,29	-2,45
	desvío	0,24	0,39	0,17	0,29	0,40	0,24
	1991-2008						
	cantidad	8	6	9	7	7	4
	media	-2,65	-2,41	-2,50	-2,35	-2,58	-2,15
desvío	0,53	0,30	0,37	0,21	0,45	0,10	
		1973-1990					
Humedad extrema	cantidad	3	3	8	6	0	2
	media	2,14	2,38	2,36	2,43	0,00	2,04
	desvío	0,15	0,23	0,25	0,34	0,00	0,03
	1991-2008						
	cantidad	4	6	2	3	5	8
	media	2,51	2,96	2,28	2,36	2,37	2,28
desvío	0,43	0,88	0,37	0,46	0,34	0,30	

Cuadro 8: Correlación de Pearson del índice de precipitación estandarizado de 3 meses (IPE3) de la serie 1973-2008

Correlación de Pearson	Serie IPE3 (abr'73 a dic'08)						Serie IPE3 (abr'73 a dic'08)						
	C	SC	SJ	R	CP	G	Julio	C	SC	SJ	R	CP	G
<b>Enero</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,36	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,81	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,36	0,54	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,55	0,73	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,38	0,40	0,77	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,64	0,67	0,71	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,17	0,14	0,57	0,76	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,45	0,48	0,57	0,64	1,00	***
Gálvez (G)	0,23	0,10	0,51	0,72	0,89	1,00	Gálvez (G)	0,59	0,62	0,68	0,62	0,77	1,00
<b>Febrero</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,46	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,87	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,63	0,61	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,82	0,84	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,60	0,37	0,68	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,83	0,76	0,76	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,48	0,20	0,56	0,73	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,70	0,59	0,73	0,78	1,00	***
Gálvez (G)	0,37	0,19	0,49	0,67	0,80	1,00	Gálvez (G)	0,75	0,71	0,80	0,75	0,83	1,00
<b>Marzo</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,67	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,78	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,61	0,70	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,75	0,81	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,55	0,64	0,70	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,72	0,82	0,80	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,71	0,52	0,65	0,69	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,72	0,62	0,77	0,79	1,00	***
Gálvez (G)	0,47	0,35	0,57	0,66	0,80	1,00	Gálvez (G)	0,54	0,55	0,74	0,73	0,80	1,00
<b>Abril</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,73	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,71	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,51	0,72	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,63	0,82	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,55	0,71	0,64	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,57	0,72	0,71	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,66	0,56	0,49	0,64	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,56	0,53	0,62	0,71	1,00	***
Gálvez (G)	0,44	0,47	0,53	0,63	0,77	1,00	Gálvez (G)	0,55	0,60	0,79	0,60	0,78	1,00
<b>Mayo</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,75	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,76	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,60	0,71	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,76	0,81	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,56	0,58	0,74	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,68	0,74	0,79	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,66	0,53	0,60	0,61	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,58	0,59	0,71	0,65	1,00	***
Gálvez (G)	0,53	0,37	0,56	0,65	0,86	1,00	Gálvez (G)	0,62	0,62	0,78	0,58	0,86	1,00
<b>Junio</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,83	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,49	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,72	0,77	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,50	0,64	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,78	0,77	0,81	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,42	0,57	0,82	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,68	0,62	0,69	0,75	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,33	0,33	0,74	0,79	1,00	***
Gálvez (G)	0,74	0,72	0,71	0,81	0,84	1,00	Gálvez (G)	0,47	0,37	0,80	0,72	0,87	1,00
<b>Septiembre</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,67	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,78	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,61	0,70	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,75	0,81	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,55	0,64	0,70	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,72	0,82	0,80	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,71	0,52	0,65	0,69	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,72	0,62	0,77	0,79	1,00	***
Gálvez (G)	0,47	0,35	0,57	0,66	0,80	1,00	Gálvez (G)	0,54	0,55	0,74	0,73	0,80	1,00
<b>Octubre</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,73	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,71	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,51	0,72	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,63	0,82	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,55	0,71	0,64	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,57	0,72	0,71	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,66	0,56	0,49	0,64	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,56	0,53	0,62	0,71	1,00	***
Gálvez (G)	0,44	0,47	0,53	0,63	0,77	1,00	Gálvez (G)	0,55	0,60	0,79	0,60	0,78	1,00
<b>Noviembre</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,75	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,76	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,60	0,71	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,76	0,81	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,56	0,58	0,74	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,68	0,74	0,79	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,66	0,53	0,60	0,61	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,58	0,59	0,71	0,65	1,00	***
Gálvez (G)	0,53	0,37	0,56	0,65	0,86	1,00	Gálvez (G)	0,62	0,62	0,78	0,58	0,86	1,00
<b>Diciembre</b>													
Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***	Ceres (C)	1,00	***	***	***	***	***
San Cristóbal (SC)	0,83	1,00	***	***	***	***	San Cristóbal (SC)	0,49	1,00	***	***	***	***
San Justo (SJ)	0,72	0,77	1,00	***	***	***	San Justo (SJ)	0,50	0,64	1,00	***	***	***
Rafaela (R)	0,78	0,77	0,81	1,00	***	***	Rafaela (R)	0,42	0,57	0,82	1,00	***	***
Carlos Pellegrini (CP)	0,68	0,62	0,69	0,75	1,00	***	Carlos Pellegrini (CP)	0,33	0,33	0,74	0,79	1,00	***
Gálvez (G)	0,74	0,72	0,71	0,81	0,84	1,00	Gálvez (G)	0,47	0,37	0,80	0,72	0,87	1,00

Todos los coeficientes tuvieron signo positivo lo cual indica que no se registraron en forma simultánea eventos opuestos en las localidades analizadas. Esto no significa que en todas las localidades se registró el mismo evento, sino que las lluvias tendieron a comportarse de la misma manera (lluvias abundantes o deficitarias en toda el área analizada).

Desde diciembre y hasta febrero inclusive, los valores de IPE3 de Ceres y San Cristóbal no se asociaron linealmente con aquellos correspondientes a Carlos Pellegrini y Gálvez. En otras palabras, y según lo ocurrido entre 1973 y 2008, existe independencia en el comportamiento de las lluvias estivales entre el norte y el sur (correlación espacial nula). A partir de marzo y hasta noviembre, las relaciones entre los valores de IPE3 de las distintas localidades fueron más fuertes (mayor valor absoluto del coeficiente de correlación) y todas las correlaciones fueron estadísticamente significativas.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se examinó el comportamiento de las precipitaciones del período 1973-2008 de localidades del centro-norte de Santa Fe, poniendo énfasis a la ocurrencia de los eventos extremos de humedad y sequía indicados mediante el índice de precipitaciones estandarizado.

Se encontró que la intensidad de los eventos extremos difiere entre localidades así como también la periodicidad con que se registran. Se obtuvieron evidencias de un aumento de la variabilidad en los últimos años, con un predominio de eventos extremos de sequía respecto a los de humedad.

La variabilidad encontrada entre los puntos de pluviometría analizados, sumado a la

escasa cantidad de pluviómetros útiles en la zona para determinar el índice de precipitaciones estandarizado, plantea el interrogante si este indicador puede ser considerado como único disparador de un seguro paramétrico para empresas tamberas. Posiblemente, se requieran otros indicadores climáticos para concluir sobre la ocurrencia o no de eventos adversos asociados al patrón de precipitaciones, como podrían ser las imágenes de índice verde normalizado.

Finalmente, convendría ampliar este estudio utilizando series de precipitaciones de mayor extensión, en términos de cantidad de años, para evaluar la estabilidad de los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABRAMOWITZ, M. M. & A. STEGUN** (eds). 1965. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications, Inc., New York. 1046 pp.
- ANDERSON, D.; D. SWEENEY & T. WILLIAMS**. 1999. Estadística para administración y economía. Internacional Thomson Editores. México. 909 pp.
- BONACCORSO, B.; A. CANCELLIERE; G. ROSSI & A. SUTERA**. 2003. Spatial variability of drought: An analysis of the SPI Sicily. Water resources management. Vol 17. 273-296
- CORONEL, A. & O. SACCHI**. 2006. Climatología de eventos secos y húmedos en el sur santafesino. Revista de investigaciones de la facultad de ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Rosario. Año 2006 Número IX. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev9/1.htm>
- EDWARDS, D. C.** 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Thesis Master of

- Science degree in Atmospheric Science. Colorado State University, United State, 155 pp.
- GASTALDI, L.; A. GALETTO & D. LEMA.** 2008. El seguro como herramienta para la administración del riesgo climático en empresas tamberas del norte de Santa Fe, Argentina. Presentado en el 2º Congreso Regional de Economía Agraria y XXXIX Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Montevideo, Noviembre de 2008.
- HAYES, M. J.; M. D. SVODOBA, D. A. WILHITE & O. V. VANYARKHO.** 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society* 80: 429-438.
- INFOSTAT Profesional.** 2007. Versión 2007. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar/>
- LLOYD-HUGHES, B. & M. A. SAUNDERS.** 2002. A drought climatology for Europe, *International Journal of Climatology*, 22, 1571-1592.
- McKEE, T. B.; N. J. DOESKEN & J. KLEIST.** 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179-184. January 17-22, Anaheim, California.
- SEILER, R.; M. HAYES & L. BRESSAN.** 2002. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *International Journal of Climatology*. Vol 22 (11). 1365-1376
- SKANSI, M. N.; S. NUÑEZ; S. BERRIOS CACERES & G. PODESTA.** 2006. Um nuevo producto operacional para monitorear la ocurrencia y duración de períodos secos y húmedos, usando el índice de precipitación estandarizado. [http://www.rsmas.miami.edu/groups/agriculture/pubs/meetings/posters/IPE\\_agrometeorologia\\_2006.pdf](http://www.rsmas.miami.edu/groups/agriculture/pubs/meetings/posters/IPE_agrometeorologia_2006.pdf)
- THOM, E. C.** 1958. Cooling degree-days. *Air conditioning, heating and ventilation*. 7: 65-72.