

EFFECTOS DEL ENSO SOBRE LAS PROBABILIDADES DE PERIODOS SECOS DERIVADAS DE MODELOS MARKOVIANOS DE PRIMER ORDEN, EN LA PAMPA.

R. C. Moschini ¹, G. Casagrande ², G. Vergara ³ y H. A. Conti ¹

1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Instituto de Clima y Agua, Castelar, Buenos Aires, Argentina.

2. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Anguil, La Pampa, Argentina.

3. Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, La Pampa, Argentina.

Summary

The effect of the two extreme phases of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon over the probability distribution of dry spells is analyzed. From daily precipitation data (1910-1995) of four La Pampa province locations grouped by the occurrence of El Niño (EN) or La Niña (LN) episodes, conditional rainfall probabilities were modeled taking account first order Markov chain process and seasonal trend. From the models, probability distributions of occurrence of at least 7 day dry spells in 15 day periods were derived.

Probabilities of occurrence of dry spells up to 30 % lower were observed in those years with EN events comparing to LN years. These differences clearly concentrated from the end of november through beginning of january, being almost similar between sites. Having early predictions of ENSO phase will be present, rational agronomic practices could be implemented.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones atmosféricas normales en el Pacífico ecuatorial incluyen un área de alta presión ubicada en el Sur-Oeste, donde el aire desciende y sopla (al igual que los vientos alisios) hacia una zona de baja convergencia, entre el Océano Índico y Australia, donde el aire asciende y su vapor se condensa, originando lluvias. Los vientos llevan el agua superficial del Océano hacia el oeste, induciendo el afloramiento de las aguas frías y ricas en nutrientes cerca de la Costa Peruana. Durante los años El Niño, se produce un decrecimiento del desbalance de las presiones que llevan el aire hacia la zona de baja presión (O. Índico y Australia), debilitando los vientos. Con este amainamiento irrumpe, a la altura de la costa del Perú, la corriente cálida de El Niño y la Zona de Convergencia Intertropical ingresa al sur del Ecuador, produciéndose lluvias en zonas normalmente áridas. Esta alternancia entre anomalías de presión positivas y negativas entre las regiones oceánicas

citadas es llamada Oscilación del sur (OS), constituyendo una componente inseparable de los calentamientos que ocurren en el Pacífico cada 2-10 años, por lo que los científicos han llamado a estos cambios oceánico-atmosféricos como eventos Oscilación del Sur-El Niño (en inglés ENSO: El Niño Southern Oscillation). La anomalía de la diferencia de presión entre la Isla de Tahití, en la Polinesia francesa y el Puerto de Darwin, en el norte de Australia, es usada como un índice de la OS (IOS), indicando un valor positivo una intensificación de la lluvias en el O. Índico y Australia, mientras que un valor negativo del IOS corresponde a una disminución de las precipitaciones en dicha región y un aumento en el Pacífico central.

El fenómeno OS reconoce dos fases extremas: a) El Niño (EN) caracterizada por el calentamiento superficial del mar a lo largo de la costa Pacífica Sudamericana, presiones mayores a la media en el O. Índico y Australia y vientos alisios débiles y b) La Niña (LN) que manifiesta la ocurrencia de

muy baja temperatura oceánica superficial en el centro y este del Pacífico tropical y fuertes vientos alisios.

La Oscilación del Sur (OS) afecta sistemas de circulación atmosférica ubicados en sitios remotos del planeta (telecomunicaciones), originando anomalías térmicas y del régimen de lluvias. En América del Sur se registran numerosos antecedentes que señalan asociaciones entre las fases extremas de la OS y anomalías de precipitación (Pisciottano et al, 1994; Tanco y Berri, 1996; Vila y Grondona, 1996).

En este estudio, para examinar el efecto de la OS sobre la distribución de probabilidades de períodos secos, preliminarmente y como alternativa al análisis directo de la información pluviométrica diaria, se definen los parámetros de un modelo que evalúa la chance de ocurrencia de lluvia por una cadena de Markov de primer orden y su tendencia estacional (Stern and Coe, 1982; Stern et al, 1982; Moschini, 1993; Moschini, 1996).

A partir de la modelización de la distribución de probabilidades condicionales de lluvia y el uso de relaciones de recurrencia, en este trabajo se derivan las probabilidades de períodos secos de al menos 7 días en lapsos de 15 días y se analiza su variación en cuatro localidades de la provincia de La Pampa como consecuencia de la acción de las fases extremas de la OS. También se deducen posibles ajustes en el manejo de cultivos en concordancia con los resultados hallados.

MATERIALES Y METODOS.

A partir de la información pluviométrica diaria del período 1910-1995 correspondiente a las estaciones Gral. Pico, Anguil, Victorica y Gral. Acha de la provincia de La Pampa (ciclos se inician el 1 de julio del año con el evento y finalizan el 30 de junio siguiente) se identifican dos subconjuntos de años. Uno de ellos corresponde, siguiendo los criterios de Rasmusson y Carpenter (1983), a los años

con fase EN (1911, 14, 18, 23, 25, 30, 32, 39, 41, 51, 53, 57, 65, 69, 72, 76, 82, 86, 91, 92, 93 y 94), mientras que el otro conjunto comprende los años LN (1910, 16, 17, 24, 28, 38, 50, 55, 56, 64, 70, 71, 73, 75, 88), durante los cuales el IOS permaneció por encima del 25% de la distribución en al menos 5 meses (Ropelewski and Jones, 1987). Por localidad y por tipo de evento analizado (EN y LN), con programas escritos con el lenguaje del paquete estadístico SAS (1988) se examinó la dependencia entre la lluvia de un día con la de su precedente. Los días con lluvias menores a 0,2 mm o cero (S) y aquellos con precipitaciones mayores o iguales a 0,2 mm (P) se codifican con 1 y 2 respectivamente. Seguidamente una tabla de contingencia 2 x 2 permite cuantificar el número de eventos diarios correspondientes a alguna de las 4 categorías que a continuación se detallan: día con lluvia siguiendo a día lluvioso (P/P), siguiendo a día sin lluvia (P/S), día seco precedido por lluvioso (S/P) y precedido por día seco (S/S) (tabla 1). Contrastando los valores observados y esperados (eventos independientes) en un test de Chi-cuadrado, los valores resultantes condujeron a rechazar la hipótesis nula y aceptar la existencia de correlación entre la ocurrencia diaria de lluvia con la del día previo, para las cuatro localidades analizadas. Por esta razón la chance de días con precipitaciones se estudia condicional a lo ocurrido en el día precedente (Cadena de Markov de primer orden).

Con los datos originales se estructura una nueva matriz 4x366 días, verificándose para cada día el número de años que corresponden a alguna de las 4 categorías descriptas. Con esta información, las probabilidades diarias de precipitación condicionadas a la situación (seca o lluviosa) del día previo se calculan de la siguiente forma:

$$Pr(P/P) = N^{\circ} \text{días } (P/P) / N^{\circ}(P/P) + N^{\circ}(S/P)$$

$$Pr(P/S) = N^{\circ} \text{días } (P/S) / N^{\circ}(P/S) + N^{\circ}(S/S)$$

La tendencia estacional de estas probabilidades diarias se analiza y modela mediante la transformación logit de las mismas (día juliano: dj=0...366).

$$\text{Ln}\{Pr(P/P) / Pr(S/P)\} = fP/P(dj)$$

$$\text{Ln}\{Pr(P/S) / Pr(S/S)\} = fP/S(dj)$$

Funciones periódicas (senos y cosenos) se ajustaron para $fP/P(dj)$ y $fP/S(dj)$, por

localidad y por tipo de evento (EN y LN). La Tabla 1 muestra los parámetros de las ecuaciones estimados por el método de máxima verosimilitud (procedimiento Logistic del SAS), siendo t el tiempo del año expresado en radianes: $t=3.1416 \cdot (dj-183)/183$.

Tabla1: Parámetros de los Modelos definidos por sitio y fase de la OS para fP/P y fP/S

Fase OS: El Niño										
Sitio	Func.	Ord.	Sen t	Cos t	Sen 2t	Cos 2t	Sen 3t	Cos 3t	Sen 4t	Cos 4t
G. Pico	fP/P dj	-1,44	0,02	0,88	-0,05	-0,23	0,05	-0,11	0,01	-0,18
G. Pico	fP/S dj	-1,87	-0,04	0,77	-0,16					
Anguil	fP/P dj	-1,47	0,26	0,80	-0,30	-0,49	0,01	-0,14		
Anguil	fP/S dj	-1,93	0,004	0,74	-0,12					
Victorica	fP/P dj	-1,14	0,27	0,48	-0,31	-0,26	-0,02	-0,20		
Victorica	fP/S dj	-1,99	0,02	0,73						
G. Acha	fP/P dj	-1,57	0,01	0,93	-0,16	-0,49				
G. Acha	fP/S dj	-2,17	0,03	0,57	-0,07	-0,07	0,02	0,01	-0,10	0,13

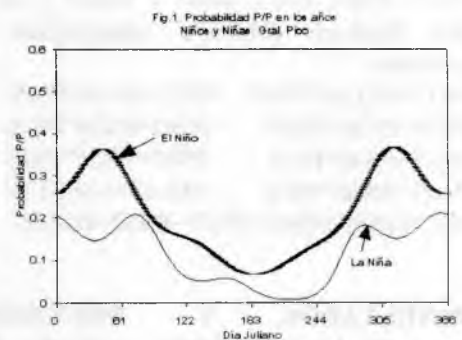
Fase OS: La Niña										
Sitio	Func.	Ord.	Sen t	Cos t	Sen 2t	Cos 2t	Sen 3t	Cos 3t	Sen 4t	Cos 4t
G. Pico	fP/P dj	-2,41	0,39	1,27	-0,47	-0,34	0,30	-0,24	-0,18	0,38
G. Pico	fP/S dj	-2,00	0,11	0,63	-0,11	-0,10	0,21	-0,15		
Anguil	fP/P dj	-2,25	0,22	1,12	-0,36	-0,48	0,35	-0,05	-0,39	-0,22
Anguil	fP/S dj	-2,04	0,05	0,58	-0,04	-0,14	0,17	-0,13		
Victorica	fP/P dj	-2,11	0,10	1,02	-0,22	-0,57	0,26	-0,26	-0,08	0,32
Victorica	fP/S dj	-1,97	-0,05	0,56	0,004	-0,25	0,04	-0,17		
G. Acha	fP/P dj	-3,17	0,48	1,20	-0,17	-0,75	0,44	-0,25	-0,28	-0,21
G. Acha	fP/S dj	-2,40	0,01	0,42	-0,04	-0,19	0,14	-0,13	-0,15	

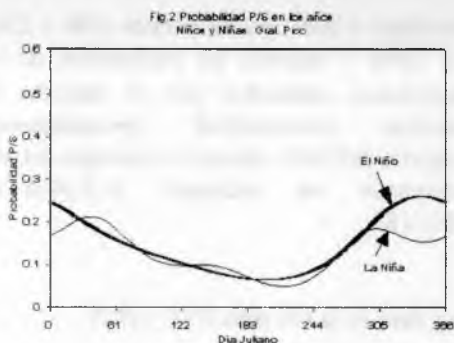
Las probabilidades condicionales diarias se recuperan de la siguiente forma:

$$Pr(P/P) = e^{fP/P(dj)} / 1 + e^{fP/P(dj)}$$

$$Pr(P/S) = e^{fP/S(dj)} / 1 + e^{fP/S(dj)}$$

Las Fig. 1 y 2 permiten visualizar las curvas de ajuste de la función armónica a los valores de probabilidad de P/P y P/S respectivamente, para eventos EN y LN en Gral. Pico.





Distribución de períodos secos: a partir de los modelos definidos para las probabilidades diarias de P/P y P/S para cada localidad y fase de la OS, se derivan resultados atinentes a la probabilidad de ocurrencia de períodos secos de al menos 7 días en lapsos de 15 días. Mediante un procedimiento numérico se resuelven repetidamente un conjunto de ecuaciones para cada día, construyendo gradualmente el resultado de interés en un período dado (relaciones de recurrencia). Desde el 1 de setiembre hasta el 15 de junio se calculan la probabilidades de períodos secos, graficando su distribución.

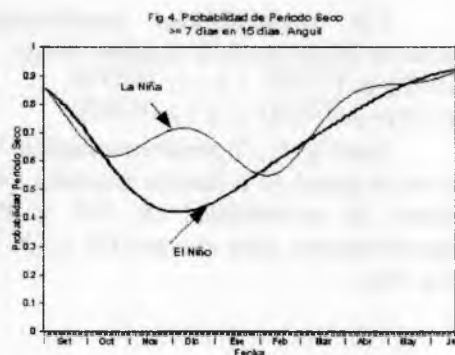
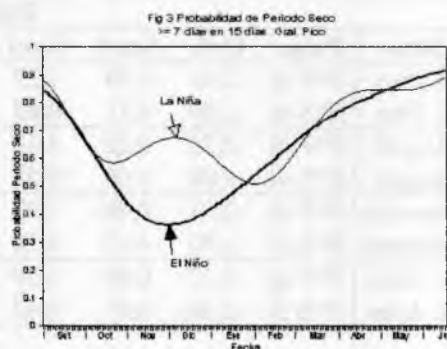
Se presentan las ecuaciones utilizadas en la programación de las relaciones de recurrencia generadas para conocer la probabilidad de ocurrencia de 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 días secos (PS17, PS27, PS37, PS47, PS57, PS67 y PAc7) y de 7 días lluviosos (PLLu7), transcurridas 7 jornadas:

$$\begin{aligned}
 PS17 &= PLLu6 * PS/P & PS27 &= PS16 * PS/S \\
 PS37 &= PS26 * PS/S & PS47 &= PS36 * PS/S \\
 PS57 &= PS46 * PS/S & PS67 &= PS56 * PS/S \\
 PAc7 &= PS66 * PS/S & PLLu7 &= 1 - (PS17 + \\
 & & & PS27 + PS37 + PS47 + PS57 + PS67 + PAc7)
 \end{aligned}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

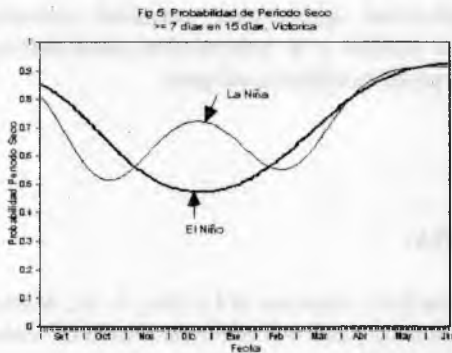
En las 4 localidades analizadas, las probabilidades diarias de precipitación siendo lluvioso el día previo (P/P) resultaron superiores a través del año en los ciclos con evento EN (valores máximos: principios de Marzo y de Noviembre) respecto a aquellos

con fases LN. En cambio, solo en el trimestre Noviembre a Enero, las probabilidades diarias de lluvia siendo seco el día precedente (P/S) durante eventos EN presentaron valores claramente superiores a los observados en años con episodios LN. En concordancia con estos resultados, la probabilidad de ocurrencia de períodos secos iguales o superiores a 7 días en lapsos de 15 días resultaron hasta un 30 % inferior en años con fase EN en comparación con años con eventos LN, para la 4 localidades estudiadas. Marcadamente estas diferencias de probabilidad se concentraron en un período extendido desde fines de noviembre a inicios de enero. En Gral. Pico y Anguil (Fig. 3 y 4), esta diferencia registrada en la chance de ocurrencia de períodos secos entre las dos fases del ENSO, fue levemente más acentuada que en Gral. Acha y Victorica (Fig. 5 y 6).



A través del año, los lapsos de 15 días que observan la menor probabilidad de tener 7 o más días secos comienzan el 30/11 en

Gral. Pico (Prob: 36,3%), el 4/12 en Anguil (Prob: 42,1%), el 14/12 en Gral. Acha (Prob: 58,1%) y el 22/12 en Victorica (Prob: 47,2%). Todos estos valores mínimos de probabilidad de ocurrencia de períodos secos se observaron en los modelos ajustados durante eventos EN.



Los resultados presentados se encuentran en armonía con los hallados por Tanco y Berri (1996) al señalar que en Noviembre-Diciembre más del 60% de la Pampa Húmeda Argentina recibe lluvias por debajo de la normal en años con eventos LN. También en la Pampa Húmeda, Vila y Grondona (1996) encuentran que durante eventos EN la distribución de cuartiles de la frecuencia relativa de días con lluvia tiende a desplazarse hacia valores altos en el último trimestre del año y hacia valores bajos en episodios LN.

En años con previsión temprana de un fenómeno OS acentuado hacia sus fases extremas, estos resultados permitirían ajustar con bases racionales decisiones de

manejo como fecha de siembra, cultivo y variedad a implantar y nivel tecnológico a utilizar. De optar por maíz, en años con eventos EN, su etapa pre-post floración debería ubicarse a principios de diciembre, donde se registran las menores probabilidades de períodos secos (especialmente en los sitios más agrícolas de Gral. Pico y Anguil). Contrariamente en años con episodios LN sería recomendable recurrir a especies como girasol y sorgo, con diferimiento de la época floración a fines de enero y febrero. En las áreas ganaderas de Victorica y Gral. Acha, el supuesto de contar con mejores condiciones hídricas en años con fases EN, podría aprovecharse adaptando en forma acorde el manejo del campo natural en relación a su carga animal.

El alcance de este estudio solo permite realizar conjeturas preliminares respecto al éxito probable de ciertos cultivos y prácticas de manejo. El impacto de las condiciones hídricas diferenciales detectadas en los años con fases EN versus LN sobre los rindes de los cultivos, fue abordado por Hansen et al (1996) mediante la utilización de modelos de simulación. En dicho trabajo se estimaron para Anguil y el cultivo de maíz rindes medios de 5076 kg/ha en años EN y de 4454 Kg/ha en ciclos LN (serie 1959-1996). Se utilizó una fecha única de siembra, por lo tanto no se pudo verificar como impactan sobre los rendimientos fechas alternativas de implantación. Magrin et al (1996) encontraron, para la serie 1989-1993, que el 66% de los años con fase EN (16 sobre 24) observaron rindes de maíz superiores a la media (calculada por subperíodos) en la región pampeana. Por el contrario, el 75% de los años con episodios LN (12 sobre 16) experimentaron rendimientos inferiores a la media histórica.

Otros aspectos derivados de este trabajo tienen relación con la generación estocástica de variables meteorológicas, como la precipitación. En generadores climáticos de uso corriente (Richardson and Nicks, 1990) el año es subdividido arbitrariamente en períodos dentro de los

cuales las probabilidades de lluvia se asumen constantes. En este trabajo las probabilidades de lluvia diaria (de transición no permanente) son una función de la época del año. Del presente estudio surgen claramente las diferencias en las distribuciones de las probabilidades condicionales de precipitación durante eventos EN respecto a años con fase LN. Las probabilidades diarias de lluvia condicionales al día previo que se derivan de los modelos definidos para las cuatro localidades pampeanas, discriminadas por el

tipo de episodio de la OS dominante, pueden constituir la base de un generador estocástico de la frecuencia de precipitación que mejore el comportamiento de los convencionales.

La disponibilidad de programas de computación para la construcción de los modelos y la derivación de los eventos de aplicación agronómica, permitirá extender este análisis a la información pluviométrica de otras localidades del país.

BIBLIOGRAFIA

- Hansen, J.W.; Jones J.W; Magrin G.; Meira S.G.; Guevara E.R.; Travasso M.I.; Díaz, R. A.; Marino M.; Hordij H.; Harwell C. and Podestá G., 1996. ENSO effects on yields and economic returns of wheat, corn and soybean in Argentina. Actas VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Bs As. Argentina.
- Magrin G.O.; Travasso M.I.; Grondona M.O.; Rodriguez G.R., 1996. Assessing the impact of Climatic Variability on Maize and Wheat yields in the Argentinean Pampas Region. Abstracts of poster Sessions, second International Crop Science Congress. pp 99. New Dehli. India.
- Moschini R. C., 1993. Ajuste de un modelo cadena de Markov-Gamma a datos de lluvia de Pergamino. RIA 24 (1): 71 a 82, INTA, Argentina.
- Moschini R.C., Grondona M.O. y Vila D.A., 1996. Influencia del ENSO sobre la distribución de las probabilidades condicionales diarias de precipitación en algunas estaciones de la región pampeana. Actas VII Congreso Argentino y VII Cong.Latinoam. e Ibérico de Meteor. Bs. As.
- Pisciottano G; Díaz A; Cazes G; Mechoso C R, 1994. El Niño-Southern Oscillation Impact on Rainfall in Uruguay. Journal of Climate, Vol 7, 1286-1302.
- Rasmusson, E M and Carpenter T H, 1983. The relationships between eastern equatorial Pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka. Mon.Wea.Rev.,111.
- Richardson C.W.and Nicks A.D., 1990. Weather generator description. En EPIC Erosion/Productivity Impact Calculator: 1 Model documentation. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin N° 1768. 235 pp.
- Ropelewski, C F and Jones, 1987. An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. Mon. Wea. Rev. 115, 1606-1626.
- SAS Institute Inc. SAS/STAT. User's Guide, release 6.03 edition Cary, NC, 1988.
- Stern R.D. and Coe R., 1982. The use of rainfall models in agricultural planning. Agric. Meteorology, 26. 35-50.
- Stern, R. D.,Dennett, M., Dale I., 1982. Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. II A modelling approach. Experimental Agriculture. 18: 237-253.
- Tanco R, Berri G. J., 1996. Acerca del efecto del fenómeno El Niño sobre la precipitación en la Pampa Húmeda Argentina. Actas del VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Bs. As., Argentina.
- Vila D. A. y Grondona M. O., 1996. Estudio preliminar sobre las relaciones entre el ENSO y la frecuencia de días con lluvia en la Pampa Húmeda. Actas del VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires, Argentina.