

**EPISODIOS ENSO Y SU RELACION CON LAS ANOMALIAS DE
PRECIPITACION EN LA PRADERA PAMPEANA**

Beatriz Scian

Dpto. de Agronomía, UNS, Bahía Blanca, Argentina. e-mail: mtscian@criba.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo de investigación se amplian los conocimientos sobre las relaciones entre la variabilidad de la precipitación observada en la pradera pampeana y las anomalías en la circulación de la atmósfera detectadas a través del Índice de Oscilación del Sur (SOI) y de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial. Se analizan los eventos fríos (CE o Niña) y cálidos (WE o Niño) desde comienzos del siglo. Los datos utilizados son las lluvias mensuales de más de 50 localidades de la llanura pampeana con registros desde comienzos de siglo hasta al menos la década del '80. Empleando métodos estadísticos de clusters se circunscribe la zona de estudio a tres subregiones de la pampa central de Argentina: Sudoeste, Norte y Este, respectivamente. Los altos valores de los coeficientes de correlación obtenidos entre el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el SOI mensual y entre el SPI y la temperatura superficial del mar en la región Niño3 (SST3) están indicando la aptitud de dichos índices para su aplicación en modelos de predicción estadísticos. Las anomalías de la precipitación para los WE y los CE tienen sus correlaciones más fuertes al fin de la primavera y comienzos del verano y son de signos opuestos, con los desfases máximos entre Noviembre y Diciembre.

Palabras clave: Precipitación, ENSO, Episodio cálido, Episodio frío, Región pampeana.

ABSTRACT

In this study the relationship between anomalies in the pampean prairie precipitation and the anomalous behaviour of the atmospheric circulation, particularly focused on the Southern Oscillation Index (SOI) and the sea surface temperature anomalies in the equatorial Pacific is examined. Data consist of secular monthly precipitation for more than 50 selected stations over the pampean plains. Three coherent subregions in the central pampas of Argentina, Southwest, North and East, respectively were determined by clustering methods. Cold and Warm events (CE or La Niña and WE or El Niño, respectively) since the beginning of the century are analyzed with relation to rainfall anomalies. High correlation values were obtained between monthly Standardized Precipitation Index (SPI) and monthly SOI as well as with sea surface temperature in the Niño3 region (SST3), encouraging to perform statistical modelling for precipitation prediction. Anomalous precipitation for WE and CE have strong correlation values for spring and early summer. Maximum out of phase values between the two cases are reached in November and December.

Key words: Precipitation, ENSO, Warm event, Cold event, Pampean prairies.

1. INTRODUCCION

El territorio argentino se caracteriza por poseer un 70% de su superficie bajo condiciones de clima árido y semiárido, del 30% restante casi la mitad le corresponde a la pradera pampeana. Esta es una región fitogeográfica que abarca las provincias de Buenos Aires, sur de Santa Fe, sur de Córdoba y este de La Pampa (Cabrera, 1971). Es

una región fundamental para la economía argentina y la responsable de la mayor producción agropecuaria del país. Para la agricultura de secano, la ocurrencia de situaciones climáticas anómalas es sin duda un factor de riesgo importante, principalmente por cambios inusuales tanto en la temperatura del aire como en la precipitación. La región pampeana tiene la particularidad de soportar sequías e inundaciones que según su intensidad, duración y escala espacio-temporal repercuten en mayor o menor medida en la economía del país.

Numerosos estudios realizados en el exterior y en el país analizan las posibles vinculaciones entre las anomalías hídricas y procesos atmosféricos en escala regional o hemisférica. Hace ya tiempo que se conoce la existencia de una relación entre las lluvias estivales y los episodios El Niño–Oscilación del Sur (ENSO) en el sur de Sud América. Importantes resultados de investigaciones sobre este tema fueron presentados por Pittock (1980), Aceituno (1988), Barros *et al.* (1996), Ropelewski y Halpert (1987, 1989, 1996), Grimm *et al.* (1998), Barros y Doyle (1998), entre otros. En particular, Ropelewski y Halpert (1996) -RH96- determinan los corrimientos observados en las anomalías de precipitación bajo condiciones de eventos cálido (WE) o frío (CE) para la región Sur de Sudamérica, asociando deficiencias con respecto a la lluvia normal para los CE y viceversa. Debido a la complejidad de los procesos atmosféricos que participan en la precipitación sumado a la variabilidad natural climática, no siempre un período seco o húmedo, aparece relacionado con un evento ENSO.

El objetivo de este estudio es lograr esclarecer los alcances del fenómeno ENSO, de gran escala sobre las anomalías de la precipitación en la región pampeana, y la vinculación con el índice de Oscilación Austral (SOI) o la temperatura superficial del mar en la región Niño 3 (SST3) como potenciales predictores de las anomalías de lluvias.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Datos

Para la pradera pampeana se utilizaron series de datos mensuales de lluvia de más de 50 localidades, provenientes del Servicio Meteorológico Nacional, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y de la red pluviométrica de la Universidad Nacional de La Pampa. Se considera una base de datos exhaustivamente controlados y consistidos. En Scian (1999), se presenta el listado de localidades empleadas y longitud de los registros.

Los episodios cálidos y fríos, WE y CE respectivamente, que se emplean en esta investigación figuran en la Tabla 1 y fueron presentados por Kiladis y van Loon (1988), quienes imponen condiciones sobre la SST en el Pacífico ecuatorial y sobre el SOI para su definición. Cuando el SOI es negativo, indicando una presión anómala baja sobre Tahiti o anómala alta sobre Darwin, los alisios se debilitan e incluso pueden revertirse y el cinturón de lluvias se desarma. Este fenómeno es la contraparte atmosférica de lo que ocurre en el océano, donde se produce un calentamiento superficial del mar en la región oriental del Pacífico ecuatorial. Es por eso que se usa

indistintamente evento o año cálido (WE) para las condiciones de SOI extremo negativo y evento o año frío (CE) para los valores del SOI extremo positivo.

TABLA 1. Lista de Episodios Cálidos (WE) y Fríos (CE) de la Oscilación del Sur durante el presente siglo y hasta 1988. Año de inicio con últimos dos dígitos.

Años WE (Mín SOI)	02, 05, 11, 14, 18, 23, 25, 30, 32, 39, 41, 51, 53, 57, 63, 65, 69, 72, 76, 82, 86
Años CE (Máx SOI)	04, 09, 10, 15, 17, 24, 28, 38, 50, 54, 61, 64, 66, 70, 73, 75, 88

La serie mensual del SOI, definida según Troup (1965) como los desvíos de la presión normalizados entre Tahiti y Darwin, y la serie mensual de anomalías de la temperatura del mar en la región 4° N-4° S; 150° W-90° W, (región El Niño 3), SST3, se obtuvieron del Climate Analysis Center, Climate Diagnostic Bulletin.

Hacia el Oeste de la región pampeana las condiciones del clima son de características semiáridas con precipitaciones anuales medias de alrededor de 600 mm mientras que el resto, con lluvias anuales que pueden superar los 1200 mm en su extremo Noreste, corresponde a un clima húmedo. Una breve descripción del comportamiento de las precipitaciones en la región se presenta en la Tabla 2, donde se muestran valores promedios de la Precipitación Anual media (Pam), para el record total de datos (columna 2) y para el período que comienza en 1941 (columna 3), así como la diferencia entre ambos, DP, (columna 4). También se incluye el total de las precipitaciones medias estivales (meses de Noviembre a Febrero) y las precipitaciones acumuladas en el período de Junio a Diciembre. Se evidencia un incremento durante el segundo período que es más notable para la región Sudoeste. La época de lluvias o estación húmeda es el verano con un porcentaje entre el 38% y 47% del total anual.

TABLA 2. Precipitación Anual media (PAm) en mm para dos períodos de información, su variación (DP) y cantidad acumulada promedio por estación del año, para las tres subregiones.

Subregión y nro. de estaciones	PAm (mm) Record Total	Pam (mm) Desde 1941	DP (mm)	Total Verano (mm) Nov a Feb	Total Inv-Pri (mm) Jun a Dic
Sudoeste (21)	610	670	60	265 (43%)	316
Norte (12)	827	856	29	393 (47%)	409
Este (17)	884	923	39	340 (38%)	472

2. 2 Metodología

Se emplea el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) según el método de McKee (1993, 1995). Este Índice se basa exclusivamente en la precipitación mensual, tiene escala temporal variable y se distribuye según una Normal luego de una transformación inversa del ajuste a una Gamma incompleta. En este estudio se aplica solamente para la escala de un mes. Un análisis exhaustivo de la determinación y la aplicación del IPE como Índice de sequía en la región semiárida y su comparación con otros índices hídricos se detalla en Scian (1997).

El método de MacQueen del k-medio es el método de asociación que se aplicó para determinar los conglomerados o "clusters". MacQueen (1967) empleó el término "k-medios" para indicar el proceso de asignar cada dato a un cluster (de entre k clusters) con el centroide más cercano (media). El determinar un cluster entre variables involucra una correlación u otra medida de asociación. Cuando se logra combinar la elección de variables, la transformación adecuada y la medida de la semejanza entonces se ha logrado una buena "asociación natural" (Anderberg, 1973).

Las correlaciones entre variables medida a través de los coeficientes de correlación y de correlación cruzada, fueron calculados con las fórmulas estándares que se presentan en la bibliografía, (Jenkins y Watts, 1968; Box y Jenkins, 1976). Las variables empleadas, como el IPE, son de distribución normal y cuando corresponde dichas series temporales se deben corregir para garantizar su estacionariedad. En meteorología se divide la muestra tomando los datos para un mes particular y así se supone que son estadísticamente independientes, lo que en general se comprueba. Las funciones de autocorrelación de las series del IPE fueron analizadas y se observó un comportamiento de ruido blanco. Para las pruebas de hipótesis se estableció un valor de $\alpha=0.05$.

3. RESULTADOS

3.1. Asociando el IPE mediante "clusters".

Al emplear el método de clusters a la variable IPE para esta región física de la Argentina se busca asociar localidades para delimitar subregiones que constituyan zonas homogéneas. Cada subregión estaría identificada por la serie media de anomalías de precipitación de las estaciones clasificadas con cierto criterio estructural pero sin la rigidez de límites estrictos o arbitrarios. Para aplicar el método de clusters se formó la matriz de datos con 41 variables correspondientes a las localidades seleccionadas con el mayor registro de años posible. En el mapa de la figura 1 se presentan las tres regiones obtenidas: Norte, Sudoeste y Este. En el caso elegido, con $k=3$, cada cluster incluye más del 20% de las localidades involucradas. Aunque son poco diferenciadas entre sí en su estructura interna, cada cluster corresponde a diferentes regímenes en la precipitación conocidos por su continentalidad, aridez o humedad suficiente. Estos resultados demuestran que un método netamente estadístico logró manejar las variables asociando con sentido físico la distribución de la lluvia.

Las series medias mensuales regionales del IPE desde 1900 pueden verse en los gráficos de las figuras 2a), 2b) y 2c), superpuestas con un ajuste por cuadrados mínimos y en donde se evidencia la tendencia positiva en las lluvias, mucho más marcada en la región Sudoeste. Algunos autores consideran que en el Sur de Sudamérica, en la región comprendida entre 20° Sur y 35° Sur, a partir de 1956 hubo un aumento en las tendencias positivas de la precipitación y que el mismo se relaciona con cambios en las tendencias de algunos índices hemisféricos, como el SOI y en mayor medida con el gradiente meridional medio de temperatura (Castañeda y Barros, 1994; Barros *et al.*, 1996).

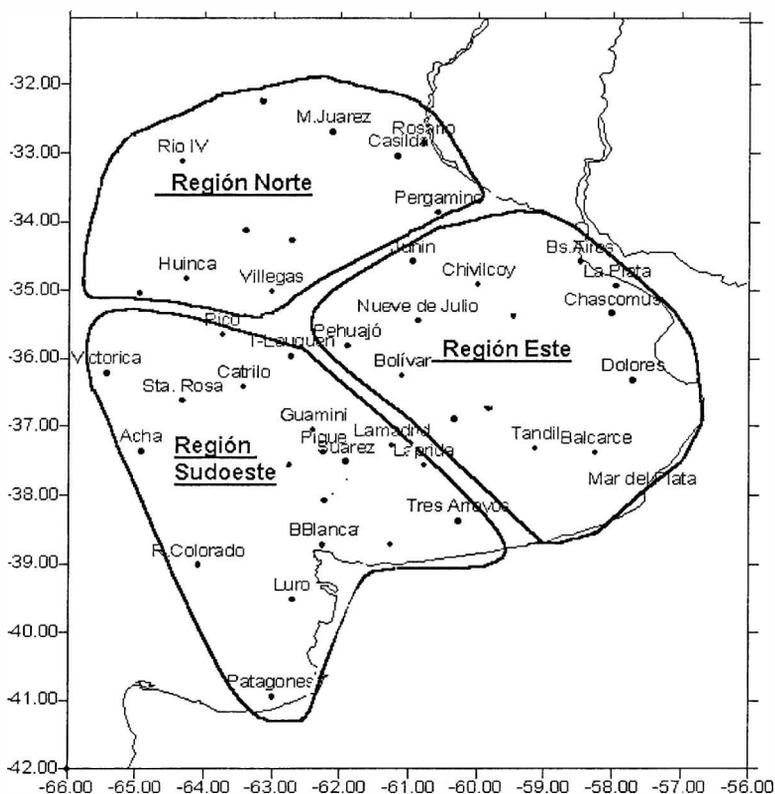


Figura 1. Mapa de ubicación de las localidades empleadas y las tres subregiones.

3. 2. Eventos ENSO cálidos (WE) y fríos (CE).

Se analiza por región, los casos de anomalías positivas en el IPE asociadas a eventos cálidos (WE) y las anomalías negativas del IPE con los eventos fríos (CE), considerando los años de los eventos que figuran en la Tabla 1. Se toma como umbral para las anomalías extremas del IPE los valores $\pm 0.5 \sigma$, (σ = desvío estándar). Se utiliza la notación (0) y (+) para referirse al año del desarrollo e instalación de un evento ENSO y al año siguiente, respectivamente. Se adoptan los resultados de RH96 para la región de las Pampas en Argentina al considerar que la estación Noviembre(0) a Febrero(+) experimenta un incremento en la precipitación mediana durante un WE y la estación Junio(0) a Diciembre(0) un déficit de precipitación en un CE.

3. 2. 1. WE. Dentro de cada región se compuso la serie de valores anuales promedio de las anomalías del IPE correspondiente a los meses de Noviembre del año en curso, Nov0, a Febrero del año siguiente, Feb+, que son los meses que constituyen el llamado evento cálido. La figura 3 muestra los resultados obtenidos, donde se ha marcado con W cada uno de los 21 eventos reconocidos en el presente siglo.

Episodios enso y su relacion con las anomalias de precipitacion en ...

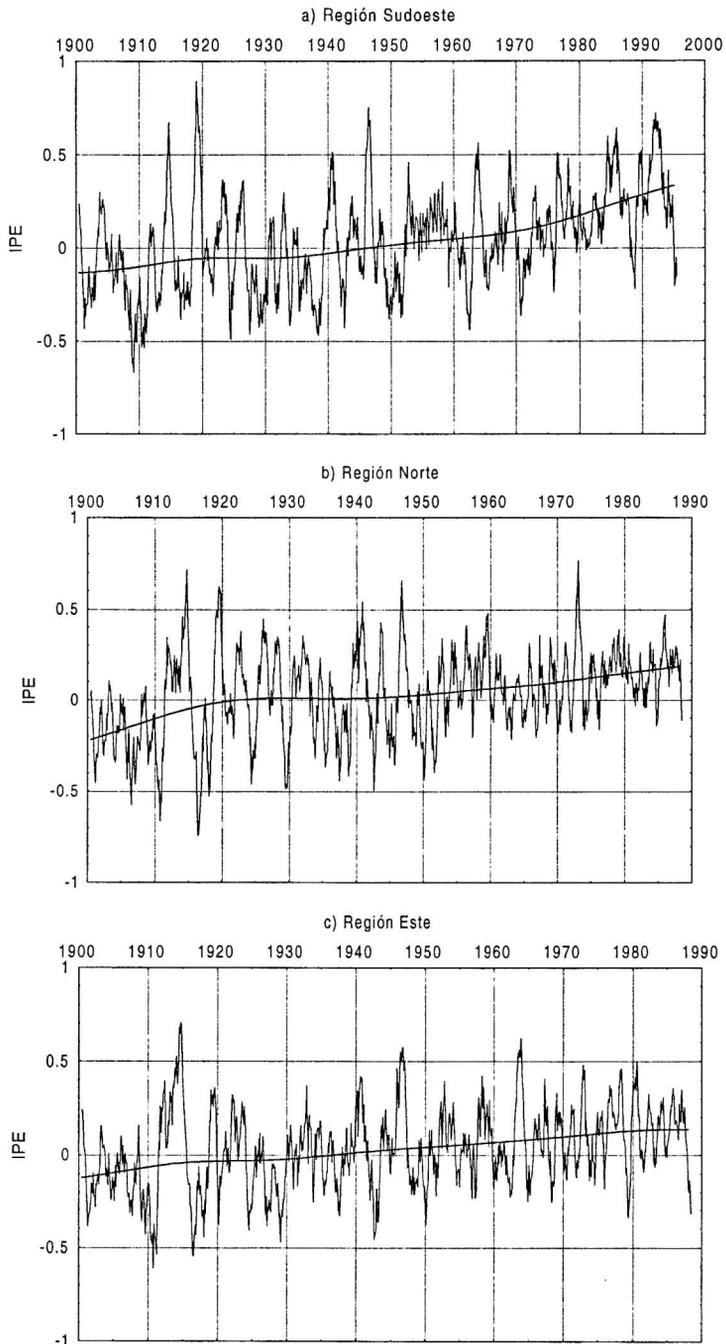


Figura 2. Serie de promedios de IPE para la región Sudoeste a), Norte b) y Este c) y ajuste por cuadrados mínimos.

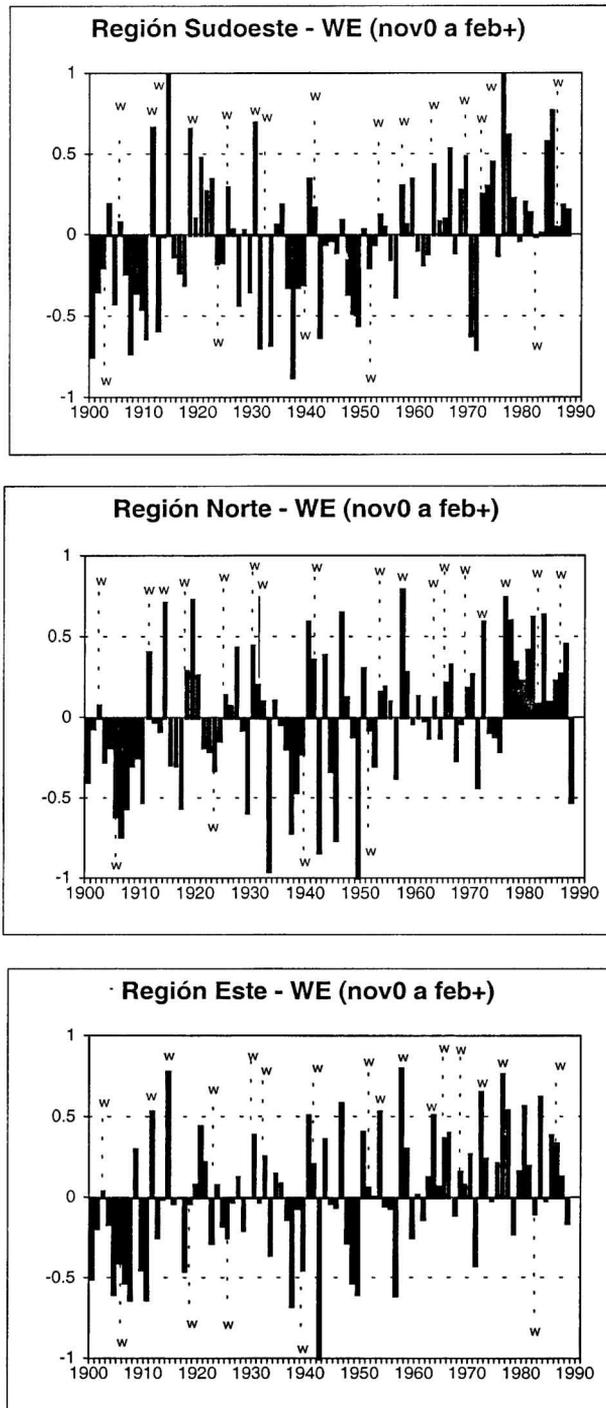


Figura 3. Anomalías de la precipitación para los meses nov0 a feb+ definidos según RH96. Los años WE se indican con W.

Episodios enso y su relacion con las anomalias de precipitacion en ...

REGION SUDOESTE - Se contabilizan 15 años con anomalías positivas sobre 21 eventos cálidos, (71%) pero sólo 5 superan el valor de 0.5σ que corresponden a los años 11; 14; 18; 30 y 76. Hay 5 años WE que le corresponden anomalías negativas y son el 02, 23, 39, 51 y 82. Sin embargo hay años que no son WE con importantes anomalías positivas, (mayores que 0.5σ) y son los años 66, 77, 84 y 85. El número de anomalías negativas que superan el valor $|-0.5 \sigma|$ es de 11 casos, de los cuales los dos últimos años, 70 y 71 corresponden a años fríos o La Niña.

REGION NORTE. El 81% de los WE coinciden con anomalías positivas del IPE, de los cuales los más intensos (mayor que 0.5σ) fueron el 14, 57, 72 y 76. Otros años que superan el valor de 0.5σ son 19, 40, 46, 77, 81 y 83 de los cuales algunos son consecuentes con los WE 18, 39, 76 y 82, no así el 46 y el 81. Al igual que en la región Sudoeste, algunos WE tienen anomalía de precipitación negativa; son los años 05, 23, 39 y 51.

REGION ESTE. Son 16 los años WE con anomalías de precipitación positiva (76%), y 7 años intensos (mayor que 0.5σ) a saber: 11, 14, 53, 57, 63, 72 y 76. Otros años que superan el valor 0.5σ son: 40, 46, 77, 80 y 83, donde todos son continuación de WE de los años 39, 76, 79 y 82; salvo el 46. En esta región, como en la Norte aparece el año 46 con una importante anomalía positiva. En la bibliografía, Quinn *et al.* (1978) y Matarira y Uganai (1994), entre otros, consideran un Niño en 1946, pudiendo ser entonces consecuencia de un Niño las anomalías de este año. Otros investigadores (Trenberth, 1996; Zhang y Levitus, 1997) marcan el año 1979 como un WE, lo que explicaría las anomalías del 80 en la región Este, no así las del 81 en la región Norte. Finalmente, los casos con anomalías negativas que corresponden a años definidos como WE son: 05, 18, 25, 39 y 82. Hay años con anomalías negativas extremas (menor que -0.5σ) y son: 04, 06, 07, 10, 37, 42, 48, 49 y 56, donde los dos últimos no corresponden a un WE sino a un CE.

3. 2. 2. CE. De la misma forma que para los WE, se compuso la serie, año a año de los promedios del IPE para el período de Jun(0) a Dic(0) que constituye el llamado evento frío, CE. La serie compuesta se presenta en los gráficos de la figura 4 donde se ha marcado con C al año correspondiente a cada evento frío, 17 en total.

REGION SUDOESTE. El 70% de los años correspondientes al fenómeno de "La Niña" presentan anomalías negativas del IPE. Los más intensos son el 10, 24 y 38. Hay 5 casos de CE con anomalías positivas: 04, 61, 64, 66 y 73 de los cuales todos son seguidos por años con déficit de lluvias, excepto el 66 que continúa positivo por 3 años más. Se designan como pre-ENSO aquellos episodios en los que la señal se produce al año siguiente pues el efecto en las anomalías de lluvias llegaría demorado a la región.

REGION NORTE. Se contabiliza un 53% de anomalías negativas que coinciden con un CE, de los cuales los años 10, 24 y 38 superan el valor límite junto con el 16 y el 37 que serían pre-ENSO.

REGION ESTE. El 82% de los CE tienen anomalías negativas del IPE pero sólo en dos años son intensas; el 10 y el 24, así como el 16. Los años 50 y 61 serían pre-ENSO.

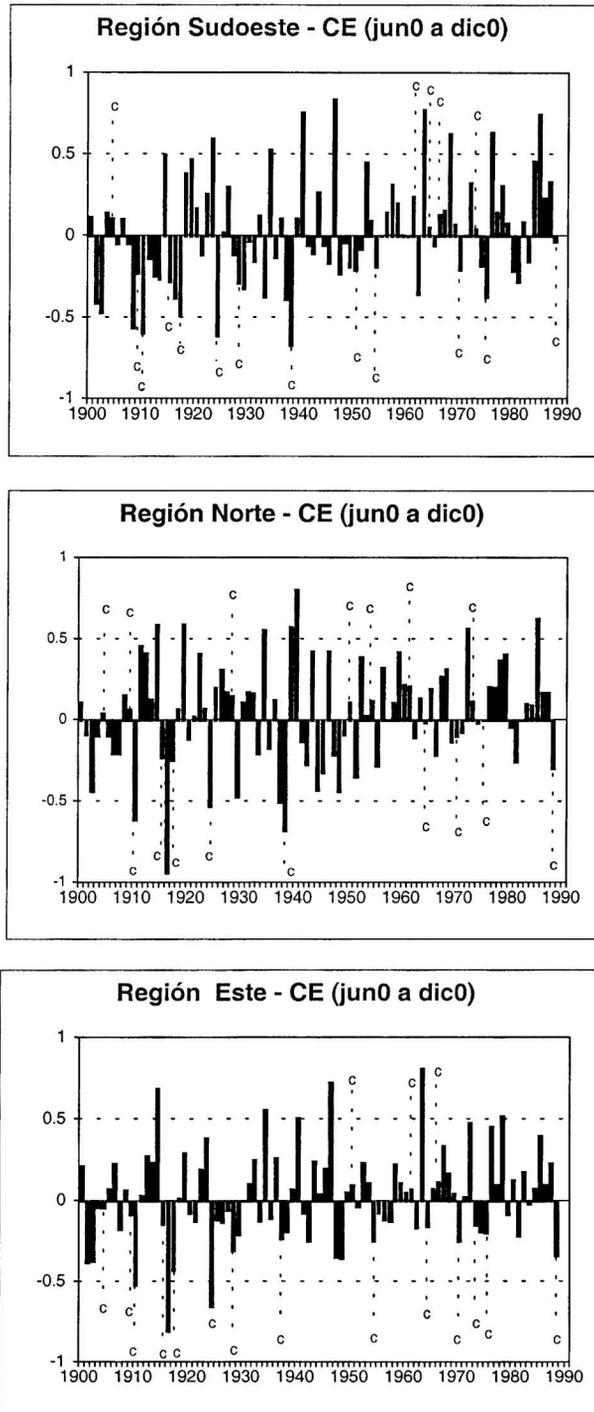


Figura 4. Anomalías de la precipitación para los meses de jun0 a dic0 definidos según RH96.. Los años CE se indican con C.

Episodios enso y su relacion con las anomalias de precipitacion en ...

Los resultados que se resumen en la Tabla 3 por región, son los porcentajes que indican coincidencia de WE/CE con anomalías positivas/negativas de lluvia, sin distinguir la intensidad del desvío. En la región Sudoeste los porcentajes de coincidencia no difieren entre WE o CE, la región Norte experimenta mayor numero de coincidencias en los WE mientras que en la región Este se observan los mayores porcentajes para ambos eventos, con predominancia de coincidencias en el CE. Hay un porcentaje de casos que el ENSO no llega a explicar y son los asociados a fenómenos de otra naturaleza que afectan a la pradera pampeana, ya sea relacionados con los desplazamientos de la zona de convergencia del Atlántico Sur (SACZ), las anomalías en la temperatura superficial del mar en el Atlántico Sur y/o la baroclinicidad asociada a las perturbaciones turbulentas sobre la corriente en chorro, por nombrar los que se consideran primordiales.

TABLA 3. Porcentaje de casos de fenómeno ENSO según sean WE o CE coincidentes con anomalías de precipitación positivas y negativas

	Región Sudoeste	Región Norte	Región Este
WE y Anom+PP	71%	81%	76%
CE y Anom-PP	70%	53%	82%

3. 3. Evolución en las anomalías de lluvia.

3. 3. 1. Anomalías de lluvia según WE y CE. Una forma de identificar la marcha de las anomalías de la precipitación bajo casos de episodios CE y WE es mediante la evolución de las anomalías del IPE para cada una de las regiones. A lo largo de un episodio ENSO se formó la serie promedio móvil trimestral del IPE, de manera que MAM(0), (Marzo, Abril, Mayo), identifica al trimestre previo a la instalación de un evento; AMJ(0) es el promedio del trimestre Abril-Mayo-Junio y así hasta OND(1) que es el trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre(1) del año siguiente al del evento.

La marcha de las anomalías por región se muestran en la figura 5. Estos gráficos evidencian que las repercusiones más fuertes en las anomalías de la precipitación ocurren al final de la primavera y tienen sus valores picos en el verano, tanto los WE como los CE. Para OND(0) y NDE(1) las anomalías alcanzan valores de -0.3 y +0.3, respectivamente. Luego se debilitan y cambian de signo. Pese a tener un suavizado de tres meses, se observa un segundo pico en la región Norte, en JJA(1), para el caso de los WE, y en FMA(1) para los CE. En dichas figuras, se incluye la serie promedio de los años restantes, o sea los años que no clasifican como Niño o Niña, los no-ENSO. Los valores oscilan alrededor de cero y no superan el ± 0.1 .

Los rasgos principales observados son los desfasajes entre las dos curvas, donde el extremo seco se produce en Noviembre mientras que el húmedo es en Diciembre del año en que se instala el ENSO. Hay otro pico secundario a 4-5 meses del seco y a 7 meses del húmedo.

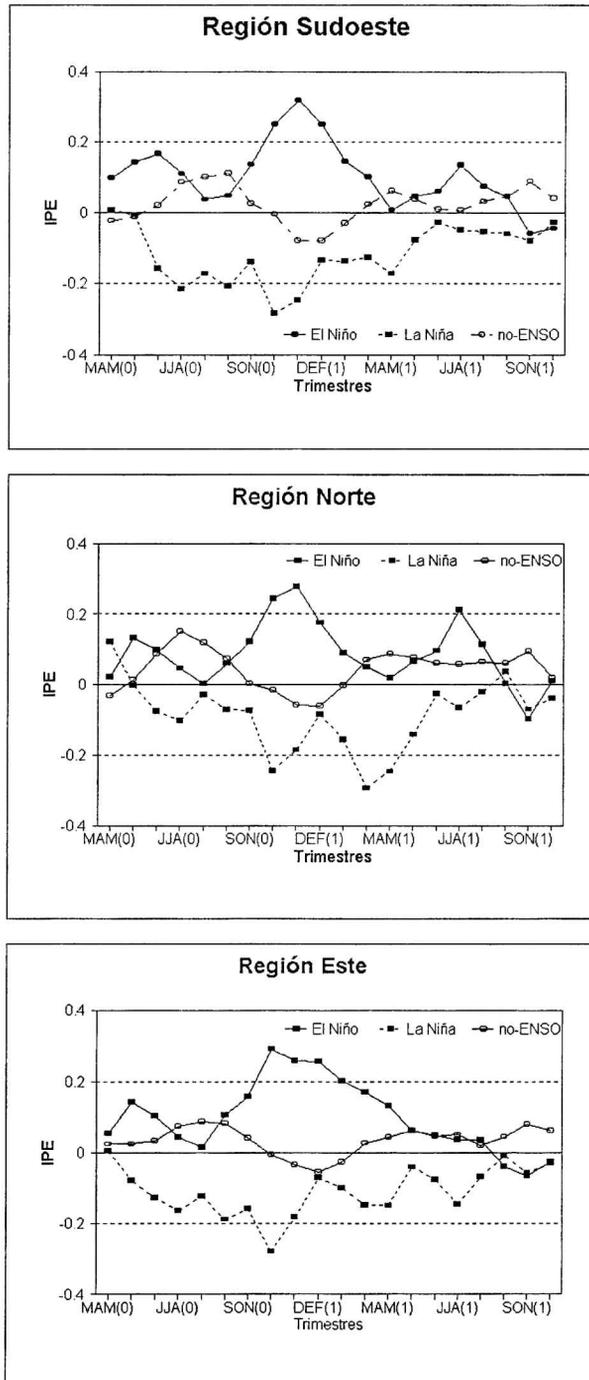


Figura 5. Evoluci3n de las anomal3as de precipitaci3n estandarizada por trimestres desde la instalaci3n de un evento Ni3o-Ni3a (MAM(0)), hasta OND del a3o (+1) y para los a3os no-ENSO.

3. 3. 2. Cambios a lo largo del Siglo. Para este análisis se calcularon los valores medios del IPE por regiones y para:

- a) el número total de episodios cálidos (21) y fríos (17),
- b) los episodios cálidos antes de 1956, (13), y de 1957 en adelante (8) y
- c) los episodios fríos antes de 1956 (10) y después de 1956 (7).

En la Tabla 4 se resumen los resultados obtenidos de los cuales se desprende que para todos los episodios cálidos de este siglo, las anomalías positivas de la precipitación son mayores en la región Sudoeste. Sin embargo, considerando sólo el segundo período (a partir de 1956), se nota un mayor incremento en la región Este, (subrayado en la tabla). Con respecto a las deficiencias de lluvias relacionadas con los episodios fríos, las anomalías negativas para el período total se apartan menos del valor de la mediana que las correspondientes al episodio cálido.

TABLA 4. IPE medio por número de eventos cálidos (WE) y fríos (CE).

* Diferencia de medias significativa.

Período	Regiones	S-O	Norte	Este	Nro. de eventos en el período
WE Total		0.2697	0.2124	0.2451	WE(21)
WE hasta '55		0.2158	0.1107	0.1335	WE(13)
WE desde '56		<u>0.3574</u>	<u>0.3776</u>	<u>0.4266</u>	WE(8)
CE Total		-0.2065	-0.1008	-0.1989	CE(17)
CE hasta '55		-0.3470*	-0.1021	-0.2551	CE(10)
CE desde '56		<u>-0.0401*</u>	<u>0.0009</u>	<u>-0.1288</u>	CE(7)

Estos resultados son otra forma de corroborar las tendencias crecientes en las precipitaciones durante el período de estudio. Para los 8 WE desde 1956, las anomalías positivas de precipitación superaron y duplicaron los valores medios del período previo. Durante los 7 CE a partir de 1956 las anomalías negativas se debilitaron a tal punto que en la región Norte el IPE medio cambia de signo. Se aplicó el test t de Student para detectar diferencias significativas entre las medias de ambos períodos encontrándose significación estadística en la diferencia para el caso de evento frío en la región Sudoeste, marcado con asterisco en la Tabla 4. Este comportamiento evidencia que existen otros procesos de largo plazo que influyen en forma más contundente que el ENSO.

3. 4. Correlaciones espaciales y temporales del IPE con el SOI y la SST3

Los meses de Noviembre y Diciembre son los que tienen las anomalías extremas de precipitación durante eventos ENSO, (3.3.1). Para distinguir como incide este fenómeno en dichos meses sobre la precipitación de la región se analizan las correlaciones para un retardo nulo. Para ello, cada serie del IPE correspondiente a cada una de las tres regiones se descompuso en subseries, para los meses de Octubre,

Noviembre y Diciembre. Estas subseries se correlacionaron tanto con el SOI como con la SST3.

IPE - SOI- Los resultados demuestran que la señal entre el SOI y las anomalías de precipitación mensual son significativas como lo indican los coeficientes de correlación que se presentan en la Tabla 5, a), b) y c) para cada subregión.

TABLA 5. Matriz de correlación de los valores mensuales del SOI y el IPE. Los valores subrayados son significativos al nivel del 5%.

a) Región Sudoeste

SOI \ IPE	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oct	.05	-.08	-.01	-.08	-.09	-.14	-.21	-.14	-.10	-.00	-.17
Nov	.17	.04	-.00	-.17	-.18	<u>-.28</u>	<u>-.24</u>	<u>-.25</u>	-.14	-.12	-.19
Dic	-.07	<u>-.23</u>	-.10	<u>-.26</u>	<u>-.45</u>	<u>-.44</u>	<u>-.56</u>	<u>-.37</u>	<u>-.31</u>	<u>-.28</u>	<u>-.41</u>

b) Región Norte

SOI \ IPE	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oct	0.10	0.03	0.07	-.01	-.10	-.15	-.16	-.11	-.09	-.15	-.09
Nov	-.14	<u>-.21</u>	-.03	<u>-.29</u>	-.18	<u>-.31</u>	<u>-.45</u>	<u>-.40</u>	<u>-.34</u>	<u>-.26</u>	<u>-.36</u>
Dic	-.18	<u>-.25</u>	<u>-.22</u>	<u>-.31</u>	<u>-.42</u>	<u>-.42</u>	<u>-.48</u>	<u>-.42</u>	<u>-.36</u>	<u>-.23</u>	<u>-.46</u>

c) Región Este

SOI \ IPE	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oct	-.07	-.13	-.14	-.15	-.12	-.14	-.20	-.17	-.20	-.13	-.16
Nov	-.12	-.19	-.11	<u>-.26</u>	-.18	<u>-.28</u>	<u>-.28</u>	<u>-.34</u>	<u>-.32</u>	<u>-.25</u>	<u>-.30</u>
Dic	-.06	-.18	-.10	<u>-.28</u>	<u>-.45</u>	<u>-.44</u>	<u>-.46</u>	<u>-.33</u>	<u>-.27</u>	<u>-.22</u>	<u>-.39</u>

El signo negativo indica que eventos cálidos (WE), que se traducen en SOI negativos, conducen a anomalías positivas de la precipitación mientras que eventos fríos (CE) tienen el efecto contrario. En todos los casos el mes que mejor correlaciona es Diciembre para el IPE, con Junio, Julio y Agosto para el SOI. El valor pico del coeficiente r es -0.56, correspondiente al SOI de Agosto con IPE de Diciembre para la región Sudoeste. Estos resultados pueden explicarse a través de una alteración en la posición del Anticiclón del Pacífico, que origina SOI negativos/positivos, que producen anomalías positivas/negativas en la precipitación principalmente en los meses de Noviembre y Diciembre cuando la fase negativa/positiva del SOI está presente desde el mes de Junio.

IPE - SST3- Se analizó la matriz de correlación entre el IPE mensual y la serie de valores mensuales de la SST3. Los resultados se muestran en la Tabla 6, a), b) y c) donde nuevamente, los meses de Noviembre y Diciembre son los que se correlacionan en forma significativa con la SST3 de Otoño, Invierno y Primavera.

Los coeficientes tienen signo positivo y valores máximos de 0.38, 0.58 y 0.58 para las regiones Sudoeste, Norte y Este respectivamente. Estos resultados parecen indicar

Episodios enso y su relacion con las anomalias de precipitacion en ...

que mientras el SOI se relaciona más fuertemente con las anomalías de precipitación en la región Sudoeste, la SST3 lo hace en el sector Este y Norte. Los altos valores de correlación obtenidos para algunos meses están indicando la potencialidad de los índices como predictores en la utilización de modelos estadísticos de predicción.

TABLA 6. Matriz de correlación de los valores mensuales de SST3 y el IPE. Los valores subrayados son significativos al nivel del 5%.

a) Región Sudoeste

SST3 \ IPE	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oct	.02	-.02	-.13	.07	.14	.03	-.07	.11	.05	.09	.06
Nov	-.15	-.11	-.02	-.05	.10	.31	.27	.29	<u>.38</u>	<u>.36</u>	<u>.37</u>
Dic	.06	.08	.18	.22	<u>.37</u>	<u>.37</u>	.28	.32	.31	<u>.37</u>	<u>.36</u>

b) Región Norte

SST3 \ IPE	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oct	-.04	-.10	-.08	-.01	.09	-.08	-.14	-.11	-.09	-.09	-.03
Nov	.23	<u>.33</u>	<u>.38</u>	<u>.42</u>	<u>.53</u>	<u>.57</u>	<u>.54</u>	<u>.56</u>	<u>.58</u>	<u>.53</u>	<u>.56</u>
Dic	.09	.22	.21	.20	<u>.38</u>	<u>.37</u>	<u>.31</u>	<u>.35</u>	<u>.29</u>	<u>.34</u>	<u>.31</u>

c) Región Este

SST3 \ IPE	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oct	-.00	.01	.06	.18	.23	.15	.10	.18	.16	.19	.20
Nov	.16	.18	.18	.15	.24	<u>.42</u>	.28	<u>.37</u>	<u>.36</u>	<u>.40</u>	<u>.34</u>
Dic	.11	.26	.31	<u>.39</u>	<u>.53</u>	<u>.58</u>	<u>.56</u>	<u>.44</u>	<u>.43</u>	<u>.38</u>	<u>.37</u>

Se analizaron las funciones de correlación cruzada entre el SOI como conducente y cada una de las tres series del IPE completas. La persistencia en dichas series es tan débil que pese a la estructura autoregresiva en la serie del SOI o de la SST3 (Trenberth y Shea, 1987), puede confiarse en los resultados de las correlaciones entre series pues una de ellas consiste sólo en ruido blanco, la del IPE. Si ambas series a correlacionar tuvieran estructura autoregresiva, entonces sí, se vería afectado el número de grados de libertad (Greenhut, 1979) que a su vez, afectaría el resultado de la aplicación de los test estadísticos pudiendo llegar a rechazarse en forma errónea la hipótesis nula, que el coeficiente de correlación es cero, $r(x,y)=0$, con una probabilidad mayor que la fijada como nivel de significación.

Los resultados muestran valores significativos máximos del coeficiente r, para un retardo (lag) de un mes, apenas perceptible, en la región Sudoeste, $r(\text{SOI}, \text{IPE Sudoeste}) = -0.141$. El retardo es nulo para las otras dos regiones y los coeficientes son: $r(\text{SOI}, \text{IPE Norte}) = -0.113$ y $r(\text{SOI}, \text{IPE Este}) = -0.135$. Las funciones de correlación cruzada entre la SST3 y las series del IPE también tienen coeficientes significativos débiles con $r(\text{SST3}, \text{IPE Sudoeste}) = 0.148$ y $r(\text{SST3}, \text{IPE Este}) = 0.137$, ambos para un retardo (lag) de un mes. La región Norte no acusa coeficientes significativos. Estos

resultados no se consideran aportes de importancia debido a los bajos valores de los coeficientes.

4. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

La pradera pampeana se ha podido subdividir en tres regiones homogéneas según la precipitación mensual empleando el análisis de clusters. Al analizar las anomalías de lluvia para cada región, en su relación con los años denominados como Eventos Cálidos o Fríos se evidencia que los años más desfavorables en lo que se refiere a deficiencia de precipitación fueron los 16-17, 24 y 38 que corresponden a CE, existiendo otros eventos secos pero de menor intensidad y algunos que no pertenecen a CE. También se observa que las anomalías positivas intensas de lluvia para los años con Eventos Cálidos se registraron en la región total, en el 14, 57, 72 y 76. Entre el 71% y el 81% de WE ocurridos en el siglo XX coinciden con anomalías positivas del IPE. Un 53% a 82% de CE se asocian con anomalías negativas.

Las correlaciones entre el índice de Oscilación del Sur y las anomalías de lluvia mensual tienen los mayores valores significativos cuando se correlacionan el SOI de Junio, Julio y Agosto con las anomalías de lluvia de los meses de Noviembre y Diciembre, valores entre -0.42 y -0.56. En las correlaciones con la SST3 de los meses de Junio a Octubre los mayores valores significativos se dan con los desvíos de lluvia de Noviembre y Diciembre y los coeficientes calculados están entre 0.42 y 0.58. Cuando se analiza la marcha a lo largo de los meses, desde la instalación del fenómeno Niño/a, se observa que los dos impactan sobre las anomalías de lluvia con la misma intensidad pero con distinto signo, ya que tienen su valor extremo casi en el mismo mes: en un WE es Diciembre con valores positivos mientras que en un CE es Noviembre con anomalías negativas (± 0.3). Además, se produce un segundo pico al año siguiente de haberse establecido el ENSO. En el caso positivo, a los 5-6 meses después del pico de NDE. En las anomalías negativas el segundo pico se produce a los 3-4 meses del pico de OND y es más intenso, como en el caso de la región Norte. Rasmusson y Carpenter (1982), destacan un comportamiento parecido en una localidad costera (Pto. Chicama, Perú) que muestra un máximo principal intenso en Mayo-Junio seguido por un segundo pico también intenso a los 7 meses (Diciembre o Enero).

Al realizar las correlaciones cruzadas entre las series del IPE con el SOI y la SST3 respectivamente, en un análisis temporal, los coeficientes son relativamente pequeños (0.14) con un lag o retraso de un mes, apenas visible o nulo, según la región.

Uno de los resultados más destacados son las importantes correlaciones espaciales entre el SOI, la SST3 y las anomalías de lluvia. En particular, establece que el SOI desde el mes de Junio puede ser un buen predictor de las condiciones de precipitación en Noviembre y Diciembre para la región pampeana, en particular para la región Semiárida.

Agradecimientos: Este trabajo fue en parte financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) a través de los subsidios PIP No. 4493 y PIP No. 454/98.

REFERENCIAS

- Aceituno, P. 1988. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate, *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505-524.
- Anderberg, M.R. 1973. *Cluster Analysis for Applications*, A.Press, NY, pp 359.
- Barros, V.R., Catañeda M.E. y Doyle, M.E. 1996. Recent precipitation trends in Southern South America to the east of the Andes: an indication of a mode of climatic variability. *Greenhouse Gas Emissions Under Developing Countries Point of View*, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Barros, V.R. y Doyle, M.E. 1998. Interannual precipitation variability over southern South America. *Sometido al International Journal of Climatology*.
- Box, G.E.P. y Jenkins, G. M. 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, Holden Day ed., pp 575.
- Cabrera, A.L. 1971. *Fitogeografía de la República Argentina*. *Boletín Soc. Argentina de Botánica*, 14, 1-42.
- Castañeda M.E y Barros, V.R. 1994. Las tendencias de la precipitación en el cono Sur de América al Este de los Andes, *Meteorologica*, Vol 19, 23-32.
- Greenhut, G.K. 1979. Reply to comments on "Correlations between rainfall and sea surface temperature during GATE", *J. Phys. Oceanogr.*, 9, 1298-1299.
- Grimm A.M., Doyle, M. y Barros, V.R. 1998. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. Part I : Precipitation anomalies. *Sometido al Journal of Climate*.
- Grimm A.M. y Barros, V.R. 1998. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. Part II : Circulation anomalies. *Sometido al Journal of Climate*.
- Jenkins, G.M. y Watts D.G. 1968. *Spectral analysis and its applications*, Holden-Day Series, pp 525.
- Kiladis, G.N. y van Loon, H. 1988. The Southern Oscillation. VII: Meteorological anomalies over the Indian and Pacific sectors associated with the extremes of the oscillation, *Mon. Wea. Rev.* , 116, 120-136.
- MacQueen, J.B. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations, *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1. 281-297.
- Matarira, C.H. y Unganai, L.S. 1994. A Rainfall Prediction Model for Southern Africa based on the Southern Oscillation Phenomena, *Technical Handbook*. SADC/FAO, Early Warning System, pp 42.
- McKee, T. B., Doesken, N.J. y Kleist, J. 1993: The relation of Drought frequency and duration to time scales. Pre-print, 8th Conf. on Applied Climatology, 179-184.
- McKee, T. B., Doesken N.J. y Kleist, J. 1995: Drought Monitoring with multiple time scale. 9th. Conference on Applied Climatology, AMS, 233-236.
- Pittock, A.B. 1980. Patterns of climate variation in Argentina and Chile-I. Precipitation, 1931-60, *Mon. Weath.Rev.* 108, 1347-1360.
- Quinn, W.H., Zopf, D.O., Short, K.S. y Yang Kuo, R.T.W. 1978. Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian Droughts, *Fish. Bull.*, 76, 663-678.
- Rasmusson E.M. y Carpenter, T.H. 1982. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354-384.
- Ropelewski C.F. y Halpert, M.S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626.

Beatriz Scian

- Ropelewski C.F. y Halpert, M.S. 1989. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation, *J. Climate*, 2, 268-284.
- Ropelewski C.F. y Halpert, M.S. 1996. Quantifying Southern Oscillation-Precipitation relationships, *J. Climate*, 9, 1043-1059.
- Ropelewski C.F. y Jones, P.D. 1987. An extension of the Tahiti-Darwin Southern oscillation index. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2161-2165.
- Scian, B. 1997. Comparación entre el índice de precipitación estandarizado y otros índices hidrológicos para la región pampeana, *Meteorologica*, Vol. 22, No. 2, 37-47.
- Scian, B. 1999. Variabilidad interanual de la precipitación en la pradera pampeana y su relación con algunos índices de circulación atmosférica, Tesis doctoral, Univ. de Buenos Aires, 132 pág.
- Trenberth K.E. 1996. El Niño definition, *CLIVAR-Exchanges*, Vol 1, Nro 3, 6-8.
- Trenberth K.E. y Shea, D.J. 1987. On the evolution of the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 115, 3078-3096.
- Troup, A.J. 1965. The Southern Oscillation, *Quarterly J. Roy. Met. Soc.*, 91, 490-506.
- Zhang R-H y Levitus S. 1997. Interannual variability of the coupled tropical Pacific ocean-atmosphere system associated with El Niño-Southern Oscillation, *J. Climate*, 10, 1312-1330.