

LA PRECIPITACIÓN DE VERANO EN EL CENTRO-OESTE DE ARGENTINA Y LOS FENÓMENOS INTERANUAL EL NIÑO/OSCILACIÓN SUR (ENOS) E INTERDECÁDICO “TIPO” ENOS

Rosa Hilda Compagnucci¹ y Eduardo Andres Agosta²

¹*Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA y CONICET; rhc@at.fcen.uba.ar*

²*Programa de Estudio de Procesos Atmosféricos para el Cambio Global, UCA-CONICET;
agosta@at.fcen.uba.ar*

RESUMEN

Gran parte de la variabilidad interanual a multidecádica de la precipitación en el continente Sudamericano es atribuida a la variabilidad de la cuenca del Pacífico ecuatorial. Esta vinculación se establece a través del fenómeno de 2-6 años El Niño/Oscilación Sur (ENOS) o de la variabilidad interdecádica “tipo” ENOS (Díaz y otros 1998, Grimm y otros 2000, Grimm 2003, entre otros). Por tanto, el presente estudio intenta examinar la relación existente entre la variabilidad interanual a multidecádica de la precipitación de verano en la región Centro-Oeste de Argentina y ambos procesos oceánicos de baja frecuencia.

Los resultados muestran que tanto para la escala interanual (fenómeno ENOS) como en menores escalas (interdecádico “tipo” ENOS) no hay vinculación entre las condiciones de temperatura superficial del mar en la cuenca del Pacífico ecuatorial y la precipitación. Solo aparecen vinculadas físicamente las áreas oceánicas próximas al cono sur de Sudamérica del Pacífico Sur y del Atlántico Sur, siendo el sudoeste del Atlántico Sur el que mayor varianza explica.

Palabras claves: precipitación, El Niño, “tipo” El Niño, cambio climático

ABSTRACT

Most of the interannual-to-multidecadal variability of the South American precipitation is attributed to the variability of the equatorial Pacific basin. The link between both is established through either 2-to-6-year El Niño/Southern Oscillation (ENSO) or the interdecadal El Niño-like variability (Díaz et al. 1998, Grimm et al. 2000, Grimm 2003, amongst other). Therefore, this study aims to examine the relationship between the interannual-to-multidecadal variability of the summer precipitation in Central-West Argentina, in South America, and both oceanic low-frequency processes.

Results show that both at interannual scales (ENSO) and at lower scales (ENSO-like) there no exists link between the sea surface temperature in the equatorial Pacific and precipitation. Only the areas closer to the Southern American continent over the South Atlantic and South Pacific seem to be physically linked via atmospheric circulation. The southwestern South Atlantic has the highest variance explained.

Keywords: precipitation, El Niño, El Niño-like, climate change

INTRODUCCIÓN

La existencia de periodicidad en baja frecuencia en la atmósfera es, en parte, atribuible a forzantes naturales de baja frecuencia como puede ser la temperatura superficial del mar (TSM). Una de las fuentes más atribuidas de variabilidad interanual a multidecádica de la precipitación en el continente Sudamericano es la variabilidad interanual a multidecádica de la TSM del Pacífico (Díaz y otros 1998, Grimm y otro 2000, Grimm 2003, entre otros), a través del conocido fenómeno interanual de 2-6 años El Niño / Oscilación Sur (ENOS) y de la variabilidad multidecádica “tipo” ENOS, que es de similar signo espacial sobre las TSM que las asociadas al ENOS sólo que con una periodicidad de más baja frecuencia (Garreaud y Battisti 1999). Una relevante expresión de la variabilidad “tipo” ENOS es el cambio en las condiciones medias de temperatura del Pacífico ecuatorial central de 1976/77 y la transición climática asociada (IPCC 2001), que afectó a más de 40 variables bioambientales del Pacífico y de las Américas (Ebbesmeyer y otros 1991).

La variabilidad de la precipitación de verano (octubre-marzo) de la región Centro-Oeste de Argentina (COA, entre 29°-36°S y 65°-70°O), presenta a lo largo del siglo XX fluctuaciones interanuales a

interdecádicas significativas (Agosta y otros 1999). El cuasi-ciclo significativo de 18 años es el más importante dentro de la baja frecuencia y es el que determina períodos alternantes de sequía y exceso de 9 años de duración cada uno en la región, hasta mediados de los 1970s (Compagnucci y otros 2002). Desde mediados de los 1970 hasta comienzos del 2000, la región experimenta un período prolongado húmedo con interrupción de los cuasi-ciclos alternantes. Por una parte, la variabilidad interanual de la precipitación y los cuasi-ciclos dominantes podrían tener su fuente en la variabilidad del Pacífico, por otra, el cambio de mediados de los 1970s, podría estar asociado a cambios debido a la variabilidad multidecádica “tipo” ENOS.

Por consiguiente, el presente estudio busca examinar si la precipitación en el COA está influenciada por variaciones de la TSM del Pacífico central ecuatorial tanto en escalas interanuales, bajo el fenómeno ENOS, como en escalas multidecádicas, bajo el fenómeno denominada variabilidad “tipo” ENOS.

DATOS Y METODOLOGÍA

La variabilidad interanual de la precipitación de verano (octubre a marzo) se aborda utilizando el índice regional de precipitación de verano $P(t)$ desarrollado por Agosta y otros (1999), actualizándolo hasta el 2004 con la información disponible en el área (Tabla I). La expresión matemática del índice es:

$$Y_j(t) = (X_j(t) \cdot 100) / \chi_j, \quad 1 \leq j \leq n$$

$$P(t) = \sum_{j=1}^n Y_j(t) / n$$

donde

$Y_j(t)$: serie individual de precipitación estival en la estación j , expresada como porcentaje del promedio de todo el registro (o sobre algún período específico, por Ej. 1959-1998)

$X_j(t)$: precipitación estival en la estación j para el año t

χ_j : Precipitación estival promedio del registro en la estación j

$P(t)$: Índice de precipitación estival regional (precipitación estival promediada espacialmente) para el año t

j : subíndice de estación

n : número de estaciones

Este índice permite documentar la variabilidad interanual de la precipitación de verano en la región COA independizándose del número de estaciones disponibles en porciones del período analizado (Compagnucci y otros 2002).

La Figura 1 muestra los valores del índice $P(t)$ calculados para el período 1901-2004. Se ve con claridad la fluctuación cuasi-bidecádica prevaleciente hasta mediados de los 1970s que da ciclos alternantes húmedo/seco de aproximadamente 9 años de duración cada uno. Tras la transición climática de 1976/77 la fluctuación se deforma dando lugar a un evento húmedo prolongado durante los últimos 30 años (Agosta y otros 1999, Compagnucci y otros 2002).

Los datos de TSM se obtienen de diversas fuentes: la base del NCEP/NCAR (2,5°x2,5° lat-lon, www.cdc.noaa.gov) en el período 1949-2004; del Hadley Centre (Global SSTs version 2.2, 1°x1° lat-lon. Rayner y otros 1996) en 1903-1994.

Para proveer de una clasificación de veranos en El Niño y La Niña, se utiliza el umbral +/-0,5°C para el índice ONI (Oceanic Niño Index), definido como el promedio móvil de tres meses de las anomalías de la TSM del ERSST.v2 en la región Niño 3.4 (5°N-5°S y 120°-170°O), respecto del período 1971-2000 (información disponible en www.cpc.ncep.noaa.gov/). Cuando el índice supera el umbral en al menos 2 trimestres consecutivos (OND y NDE, o NDE y DEF, o DEF y EFM) y en los restantes trimestres mantiene el signo de la anomalía, se considera verano El Niño (anomalía positiva) o verano La Niña (anomalía negativa). Para el período 1950-2004 se obtiene la siguiente clasificación de la Tabla II.

Las tablas de contingencia (Hoel 1964) permiten la identificación de cualquier asociación estadística entre las fases El Niño o La Niña y de anomalías positivas/negativas de precipitación en el COA

Tabla I. Estaciones empleadas para el análisis de la precipitación en COA. *Estaciones empleadas para el análisis apropiado. **Estaciones utilizadas para interpolación de datos faltantes. † Estaciones de corto registro y/u operación interrumpida.

<i>Estaciones</i>	altura (m)	Estaciones principales*		Registro
		Latitud (°S)	Longitud (°O)	
(1) La Rioja	516	29°25`	66°52`	1904-2004
(2) San Juan	634	31°32`	68°34`	1900-2004
(3) Mendoza	769	32°53`	68°49`	1900-2004
(4) San Luis	734	33°18`	66°19`	1905-2004
(5) Villa Mercedes	514	33°41`	65°29`	1900-2004
(6) San Carlos	940	33°46`	69°02`	1938-1979
(7) Rama Caída	713	34°40`	68°24`	1927-2004
(8) Colonia Alvear	465	35°00`	67°39`	1935-1979
(9) Victorica	312	36°14`	65°26`	1905-1998
		Estaciones secundarias**		
				<i>Interpolada</i>
† San Juan FC ²	630	31° 32`	68° 32`	(2)
Crycit				(3)
† San Rafael FC	-	34° 35`	68° 20`	(7)
† Rama Caída FC	-	34° 34`	68° 23`	(7)
San Rafael Met.	746	34° 35`	68° 34`	(7)
† Soitué	-	35° 00`	67° 52`	(8)
† Carmensa	-	35° 08`	67° 37`	(8)
† Bowen	-	34° 59`	67° 41`	(8)
† C. Alvear FC	465	34° 59`	67° 41`	(8)
Santa Rosa	189	36° 44`	64° 16`	(9)

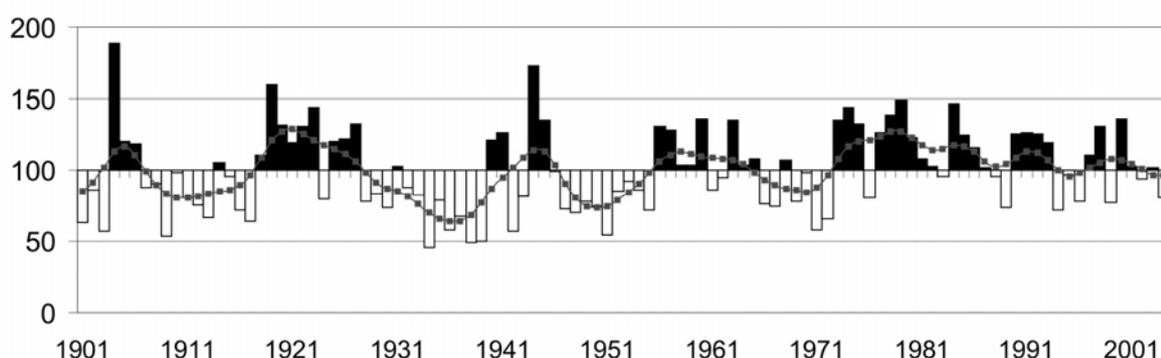


Figura 1. Valores porcentuales del índice regional de precipitación estival P(t) para el COA (barras verticales) y suavizado gaussiano de 9 términos (línea con círculo) (Hoel 1964).

RESULTADOS

Con la intención de determinar si existe alguna asociación entre el verano húmedo/seco en el COA y la fase cálida/fría del fenómeno ENOS, se construye la tabla de contingencia de doble entrada (Tabla III). La precipitación estival es considerada como una variable dicotómica: por encima y por debajo de

la media regional, indicado por el índice P(t). Los veranos se categorizan como El Niño, La Niña o Neutro (no El Niño, no La Niña) según la definición dada en Sección 2.

Tabla II. Clasificación de veranos en El Niño y La Niña en el período 1950-2004

Verano El Niño
 1951/521965/661976/771986/871994/95
 1957/581969/701977/78 1987/881997/98
 1963/641972/731982/83 1991/922002/03

Verano La Niña
 1950/511956/571970/711975/761988/89
 1954/551961/621971/721983/841995/96
 1955/561964/651974/751984/851999/00
 1967/68

Tabla III. Tabla de Contingencia para las variables de entrada verano ENOS, en las categorías El Niño, La Niña y Neutro; y precipitación estival en el COA en las categoría húmedo (por encima de la media regional) y seco (por debajo de la media regional). Se muestran valores observados, valores observados porcentuales en paréntesis, valores teóricos en cursiva y valores teóricos porcentuales en paréntesis, de acuerdo a la hipótesis de independencia entre variables.

	(+) Húmedo	(-) Seco	Total
El Niño	73/ - 77/78/92/98/03 6 (11%) <i>7,56 (13,8%)</i>	52/58/64/66/69/70/ - 83/87/88/95 10 (18%) <i>8,44 (15,4%)</i>	16
La Niña	56/57/65/74/75/ - 84/85/89/00 9 (16%) <i>8,03 (14,6%)</i>	51/55/62/68/71/72/76/ - 96 8 (15%) <i>8,96 (16,3%)</i>	17
Neutro	60/61/63/- 79/80/86/90/91/93/97/01 11 (20%) <i>10,4 (18,9%)</i>	50/53/54/59/67/ - 81/82/94/99/02/04 11 (20%) <i>11,6 (21,1%)</i>	22
Total	26	29	55

Dado que la hipótesis nula de independencia de las variables no puede rechazarse para el nivel de 0,05 (tan solo podría rechazarse para $\alpha=0,20$), se sugiere que la variación interanual de la precipitación de verano en el COA no puede asociarse directamente al fenómeno ENSO.

Este resultado se ve reforzado con el campo de correlación entre la TSM globales con datos del NCEP/NCAR (2,5°x2,5° de lat-lon) y la precipitación en el COA estimado sobre el mismo período 1950-2004 (Fig. 2). En el área del Pacífico ecuatorial los valores de correlación son inferiores a 0,2 y no significativos para $\alpha=0,05$ (coeficiente crítico $r_c = 0,267$ con $N=55$). En cambio los valores de correlación son significativos y positivos en el Atlántico Sur subtropical/templado occidental ($r>0,40$) y el Pacífico Sur subtropical/tropical oriental ($r>0,30$). Estas áreas de correlación se mantienen aún usando la base de TSM global (1°x1° de lat-lon) del Hadley Centre, incluso para el período más extenso 1904-1994 de la base usada (Fig. 3). Amplias áreas en los océanos extratropicales del Hemisferio Sur, de latitudes altas a subtropicales, tienen correlación directa y significativa con la precipitación en el COA, con ausencia de señal en la cuenca del Pacífico ecuatorial. Otras áreas remotas de correlación positiva aparecen en el sudoeste del Norteamérica y el Índico ecuatorial-tropical. La relación con Norteamérica es indirecta y puede deberse a que la TSM de esa área está relacionada con la del Pacífico sur de latitudes medias (Gu y Philander 1997). Lo confirma el hecho de que los valores de correlación son menores que para el Pacífico Sur. El área del Índico se relaciona con la precipitación de verano en Sudáfrica (Lizcano y Todd 2005, Lindsay 1998), la cual a su vez está relacionada en fase con la precipitación del COA desde comienzos de siglo 20 hasta mediados de 1970 (Compagnucci y otros 2002).

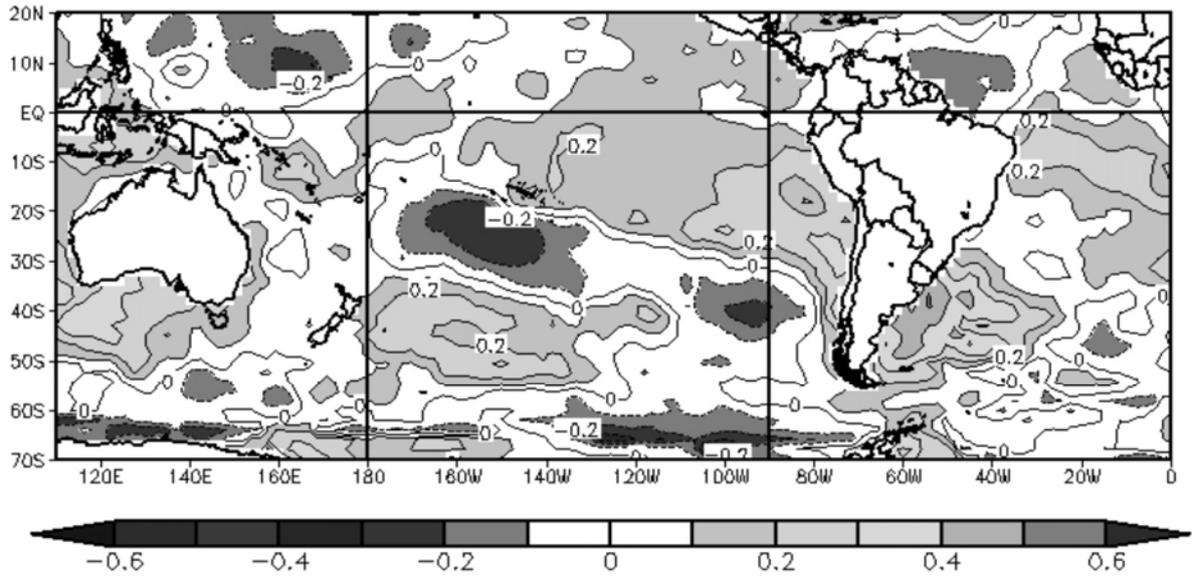


Figura 2. Correlación entre la precipitación estival en el COA y la TSM de la base NCEP/NCAR en el período 1950-2004.

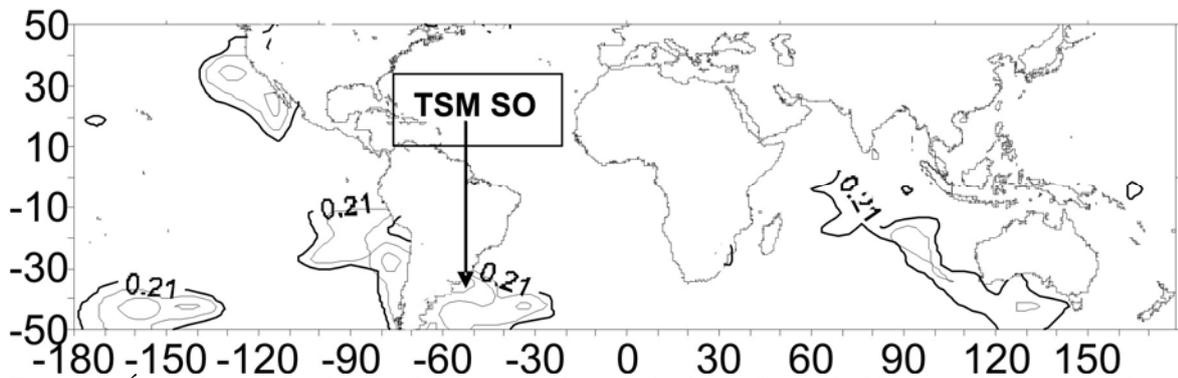


Figura 3. Áreas de correlación significativa para el intervalo de confianza de 95% entre la precipitación estival en el COA y la TSM (Hadley Center) en el período 1944-1994. TMS SO: área de mayor varianza explicada, entre 30°-40°S y desde la costa de Sudamérica hasta 40°O aproximadamente.

Las TSMs directamente relacionadas con la precipitación en el COA son el área del sudoeste del Atlántico Sur (TSM SO), en primer lugar, y el área del sudeste del Pacífico Sur, en segundo. De acuerdo a Wainer y Venegas (2002), las variaciones de la TSMs en el Atlántico Sur en el sector sudoeste están asociadas a variaciones de la circulación atmosférica en torno a 40°S. En consecuencia estas altas correlaciones con precipitación pueden poner en evidencia la actividad de la atmósfera tanto sobre las TSM como en la producción de precipitación. A su vez, mayores (menores) valores de TSM estarían vinculados a mayor (menor) humedad disponible para ser adveccionada hacia el interior del continente y la región COA. Para el área del sudeste del Pacífico Sur, se tiene que cuando el Anticiclón del Pacífico Sur se debilita (fortalece), también se debilita (fortalece) la corriente oceánica de Humboldt por el efecto de divergencia de Ekman causado por la fuerza del viento (Godfrey y Rintoul 1998), lo cual implica que mayores (menores) TSMs indican condiciones de relativas bajas o vaguadas (altas o cuñas) sobre el Pacífico que favorecen (desfavorecen) precipitación en el COA. En este sentido, Agosta y Compagnucci (2006) muestran que un debilitamiento y/o retracción de la actividad del Anticiclón del Pacífico Sur y un fortalecimiento y/o expansión del Anticiclón del Atlántico Sur están vinculados a un verano húmedo en el COA, debido al gradiente de presión establecido sobre Argentina subtropical y el consiguiente ingreso de humedad desde más bajas latitudes y/o desde el Atlántico Sur. Lo opuesto se vincula a un verano seco.

Este resultado junto con la tabla de contingencia permite concluir que en escala interanual la TSM del Pacífico ecuatorial central, y como tal el ENOS, no se relaciona significativamente con la variabilidad interanual de la precipitación en el COA.

En escala interdecádica, la precipitación en el COA muestra un cambio en el verano 1976/77 hacia mayor frecuencia de ocurrencia de verano húmedo coincidentemente con mayor frecuencia de ocurrencia del fenómeno ENOS dentro de la fase positiva de la variabilidad multidecádica “tipo” ENOS. Sin embargo, de existir una real relación entre la precipitación de verano en el COA y la variabilidad multidecádica “tipo” ENOS, los cambios de la precipitación en el COA tendrían que tener la misma variabilidad que la baja frecuencia del Pacífico ecuatorial central previamente a 1976/77. El “paso bajo” de las TSMs del Pacífico ecuatorial oriental (Fig. 4, extraída de Fig.1.A de Federov y Philander 2000) no muestra un cuasi-ciclo de 18 años o frecuencias similares. La modulación de baja frecuencia de la serie de TSM del Pacífico es de 30-40 años o más (Garreaud y Battisti 1999). En cambio, la precipitación en el COA ha estado modulada en la baja frecuencia a lo largo de siglo XX por el cuasi-ciclo significativo de 18 años sin interrupción hasta mediados de la década de 1970 y no presenta señal en menores frecuencias (Compagnucci y otros 2002). A lo sumo, ambas variabilidades coinciden en la transición climática del verano 1976/77 que les afecta hacia una fase positiva (ver Fig. 1). Todo parece indicar que el origen del cuasi-ciclo bidecádico ha de estar conectado con la variabilidad de la circulación atmosférica del Hemisferio Sur, o bien, con la TSM del Atlántico Sur.

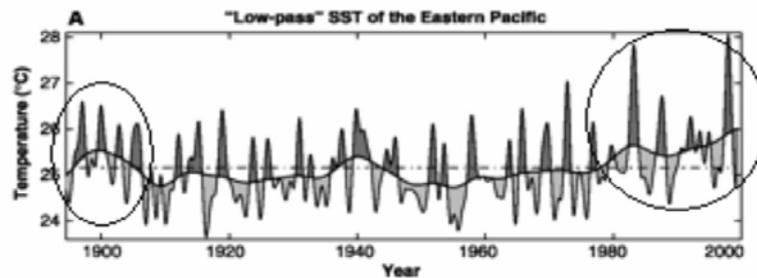


Figura 4. Oscilaciones interanuales en la TSM en el Pacífico ecuatorial-central (promediado sobre el área 5°S-5°N, 180°-120°O) mostradas sobre el trasfondo de la fluctuación decádica (obtenido mediante filtro de “paso bajo”) después de remover el ciclo anual y mayores frecuencias. Figura extraída de la Fig.1(A) de Gu y Philander (2000).

CONCLUSIONES

El análisis muestra que la variabilidad interanual a multidecádica de la precipitación de verano en el COA, ubicado al este de los Andes subtropicales de Sudamérica, no presenta relación directa tanto con el fenómeno interanual de 2-6 años ENOS como la variabilidad multidecádica de menor frecuencia denominada “tipo” ENOS. Esto implica que no es posible siempre atribuir la variabilidad de baja frecuencia de la precipitación en Sudamérica a variaciones de la TSM de la cuenca del Pacífico, sino que habría que considerar subescalas espaciales. Lo único en común entre una y otra variabilidad es la coincidencia de los efectos de la transición climática del 1976/77, que afecta a ambas variabilidades hacia una fase positiva en los últimos treinta años (ver Fig. 1 y Fig. 4).

Se encuentra que las regiones oceánicas próximas al cono sur de Sudamérica presentan varianzas significativas que explican parte de la variabilidad interanual de la precipitación en el COA. La conexión entre las TSM en estas áreas oceánicas y la precipitación puede deberse a la actividad de la circulación atmosférica en una y otra variable. El área de mayor relación con la precipitación es el sector sudoeste del Atlántico Sur (TSM SO).

En consecuencia, las fluctuaciones significativas interanuales a multidecádicas de la precipitación en el COA encontradas en estudios previos por Agosta y otros (1999) y Compagnucci y otros (2002) a lo largo del siglo XX pueden tener su origen en las variaciones de la TSM en el sudoeste del Atlántico Sur y/o en variaciones de la circulación atmosférica del Hemisferio Sur.

Agradecimientos: A *O.Carm.* por todo su apoyo. A los subsidios de proyectos para la investigación otorgados por la UBA, 01x002, y el CONICET, PIP 5276.

REFERENCIAS

- Agosta, E.A. y Compagnucci, R.H. (2006): Atmospheric Conditions during wet and dry summer extremes in Central-West Argentina, 8th ICSHMO, AMS, Foz do Iguazu, Brasil, Ses. 12: Understanding long-term climate variations in SH, 1439-1452.
- Agosta, E.A. Compagnucci R.H. y Vargas, W.M. 1999: Cambios en el régimen interanual de la precipitación estival en la región Centro-Oeste Argentina. *Meteorol.* 241/2, 63-84.
- Compagnucci, R.H., Agosta, E.A., Vargas M.W., 2002: Climatic change and quasi-oscillations in central-west Argentina summer precipitation: main features and coherent behaviour with southern African region. *Cli. Dyn.* 18, 421-435.
- Díaz, A. F., C. D. Studzinski, and C. R. Mechoso, 1998: Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *Journal of Climate*, 11, 251-271.
- Ebbesmeyer C.C., Cayan D.R., McLain D.R., Nichols F.H., Peterson D.H. y Redmond T., 1991: 1976 Step in the Pacific Climate: Forty environmental changes between 1968-1975 and 1977-1984. *Proceeding of the 7th Annual Pacific Climate PACLIM, Workshop, April 1990*, Eds. Betancourt, J.L. y V.L. Tharp, Californian Dep. of Water Resources, Interagency Ecological Studies Program, Tech. Rep. 26, 115-126.
- Federov, A.V. y Philander, S.G. 2000: Is El Niño Changing? *Science*, 288, 1997-2001.
- Garreaud, R. D. y D. S. Battisti, 1999: Interannual ENSO and interdecadal ENSO-like variability in the S. Hemisphere. *J. Climate*. 12, 2113-2123.
- Grimm, A. M., 2003: The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, 16, 263-280.
- Grimm, A. M., V. R. Barros, and M. E. Doyle, 2000: Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 13, 35-58.
- Godfrey, J.S. y S.T. Rintoul (1998). The role of the Oceans in the Southern Hemisphere Climate. En *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Ed. D.J. Karoly y D.G. Vincent. Am. Met. Soc., 410 pág.
- Gu, D.F., and S.G.H. Philander, 1997: Interdecadal climate fluctuations that depend on exchanges between the tropics and extratropics. *Science*, 275:805-807.
- Hoel, Paul G. 1964: *Introduction to Mathematical Statistics*, John Wiley & Sons, Inc. New York-London, 428 pág.
- IPCC 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 944 pág.
- Lindesay J.A. 1998: Present Climates in Southern Africa. En *Climates of the Southern Continents: Present, Past and Future*. Wiley press, Ed. J.E. Hobbs, J.A. Lindesay y H.A. Bridgman, 297 pág.
- Lizcano, G. y Todd, M.C. 2005: Non-ENSO control on Southern Africa precipitation variability. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, 363, 61-62.
- Wainer I. y Venegas S.A. 2002: South Atlantic Multidecadal Variability in the Climate System Model, *Jou. Of Clim.* 15, 1408-1420.