

ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN EN LA LLANURA CHAQUEÑA ARGENTINA Y SU RELACIÓN CON EL COMPORTAMIENTO DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA Y LAS TEMPERATURAS DE LA SUPERFICIE DEL MAR

Marcela Hebe González^{1,2} y Olga Karina Flores²

¹ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET/UBA)

² Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEN-UBA)

(Manuscrito recibido el 15 de abril de 2010, en su versión final el 31 de octubre de 2010)

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es detectar indicadores de circulación que se relacionen con la variabilidad interanual de la lluvia en la llanura chaqueña. La precipitación media en regiones definidas se correlacionó con la temperatura de la superficie del mar, altura geopotencial en 1000, 500 y 200 Hpa, presión a nivel del mar, humedad específica en 925Hpa, viento zonal y meridional en 850 Hpa, simultáneamente y en el mes previo. El aumento de la precipitación estival se asocia al debilitamiento del anticiclón del Atlántico y altos valores de humedad específica en el noreste de Argentina. En la región noreste además se asocia a viento este y debilitamiento del viento del norte mientras que la región noroeste es la más influenciada por La Niña. En primavera el rasgo fundamental es la relación en el noreste con la fase cálida del ENOS. El rasgo más importante es que se asocia la precipitación estival en las tres subregiones con el debilitamiento del anticiclón del Atlántico durante el mes previo mientras que en la primavera la señal más importante se relaciona con el ENOS.

Palabras clave: precipitación; llanura chaqueña; correlaciones; variables de circulación atmosférica; temperatura de superficie del mar

RAINFALL ANALYSIS IN CHACO PLAINS AND ITS RELATIONSHIP WITH ATMOSPHERIC CIRCULATION BEHAVIOR AND SEA SURFACE TEMPERATURES

ABSTRACT

The aim of this study is to detect atmospheric signals related to the interannual variability of rainfall in the Chaco Plains. Mean rainfall series in regions defined, are correlated to sea surface temperature, 200, 500, and 1000Hpa geopotential height, sea level pressure, 925 Hpa specific humidity and 850Hpa wind fields in the simultaneous three month period and in the previous month. The increase of summer precipitation is associated to the weakening of the Atlantic High and high values of low level specific humidity in northeast Argentina. In the northeast region it is also associated with easterlies winds and weak northerly and the northwest region is influenced by La Niña. In spring, the principal feature is the relation with the warm phase of ENOS phenomenon. The most important

feature is that summer rainfall in the three subregions, is associated with a weakened Atlantic High during the previous month meanwhile Spring rainfall is related to ENSO phenomenon.

Keywords: rainfall; chaco plains; correlations; atmospheric circulation variables; Sea Surface Temperature

1. INTRODUCCIÓN

La llanura chaqueña es una región ubicada al norte de Argentina y al este de la cordillera de los Andes que abarca el ecosistema del Chaco seco en el oeste, el húmedo hacia el este y las yungas selváticas, que se distribuyen discontinuamente en Salta, Jujuy y Tucumán integrándose a las Sierras Subandinas. La zona fértil oriental de esta región presenta una actividad agrícola importante, que fue extendiéndose hacia el oeste en la zona subhúmeda y acercándose al Chaco occidental donde se ubica un espeso paisaje boscoso conocido como El Impenetrable. Esta región ha experimentado cambios en el uso del suelo que probablemente afectaron el clima de manera significativa (Adamoli y otros 2004, Grau y otros 2005, Paruelo y otros 2006). Muchos estudios se realizaron para cuantificar el cambio acontecido en la cantidad de lluvia caída anualmente (Barros y otros 2000a, Castañeda y Barros 1994, González y otros 2005) y todos ellos han encontrado señales de cambio importantes en esta región.

La precipitación media mensual muestra tres regímenes diferentes en la zona oriental, central y oeste del área de estudio, de forma que el ciclo anual marcado con lluvias de verano se acentúa hacia occidente, pero en toda la región la época de mayores lluvias abarca desde octubre hasta marzo. Más de un 40% de la varianza de las anomalías de precipitación acumulada en ese período se explican por un patrón que exalta las diferencias meridionales, otro que representa las zonales y un tercero que muestra la diferencia entre la zona noreste y sudoeste de la región analizada (González y otros 2008). La gran variabilidad interanual de la precipitación genera la necesidad de conocer cuáles son los patrones de gran escala que dan como resultado las distintas situaciones hídricas.

Existen evidencias de la relación que existe entre la variabilidad interanual de la precipitación en esta región y el fenómeno El Niño- Oscilación del Sur (ENOS). Por ejemplo, se detectó un incremento de

precipitación estival en el este de Argentina durante la fase cálida (Ropelewsky y Halpert 1987) y particularmente con señal intensa en primavera (Vargas y otros 1999, Grimm y otros 2000). Sin embargo, el ENOS no explica toda la variabilidad de la lluvia y es por ello que muchos autores han investigado la posibilidad de que otros elementos de gran escala actúen como forzantes, como por ejemplo Doyle y Barros (2002) que encontraron relación entre la temperatura de la superficie del mar en el Atlántico suroccidental en verano y el acceso de humedad al continente, Silvestri y Vera (2003) que relacionaron la lluvia de las estaciones de transición con la oscilación antártica, Barros y otros (2000b) que relacionaron la actividad de la Convergencia del Atlántico Sur con la precipitación estival en el sudeste de Sudamérica.

Este trabajo tiene como objetivo aunar la información de precipitación registrada por estaciones de diferentes fuentes para mejorar la detección de ciertas relaciones entre la variabilidad interanual de la precipitación, tanto en primavera como en verano, con los patrones de temperatura de la superficie del mar y el comportamiento de otras variables de circulación (presión a nivel del mar, altura geopotencial, viento, entre otras).

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Se trabajó con datos de precipitación acumulada mensual obtenidos de 37 estaciones distribuidas en la región chaqueña argentina (entre 22 y 30°S y entre 66 y 58°O), provenientes de diferentes fuentes: Servicio Meteorológico Nacional, Subsecretaría de Recursos Hídricos, Agencia Provincial de Aguas de Chaco y Comisión Regional del Río Bermejo (Figura 1). Los datos, correspondientes al período 1968-2007, en el cual se centró el estudio, fueron controlados y se controló su calidad.

Un análisis del ciclo anual de cada estación muestra que la precipitación presenta máximos

relativos en las estaciones cálidas y mínimos en las estaciones frías (González y otros 2008). Como el interés de este estudio se centra en los períodos de máxima precipitación, se dividió el registro de estudio en dos períodos característicos: uno correspondiente a la primavera (octubre, noviembre y diciembre, OND en adelante) y otro al verano (enero, febrero y marzo, EFM) para el período 1968-2007.

Para regionalizar espacialmente los datos se aplicó el método de Lund (1963) basado en la correlación entre las mediciones de las distintas estaciones. Se utilizó un coeficiente de correlación crítico de 0,5. Las estaciones que no formaron parte de ninguna región se incluyeron en alguno de los grupos sólo si la correlación con las estaciones que conforman dicho grupo fuera significativa con el 95% de confianza. En caso contrario, no fueron consideradas como participantes de ninguno de los grupos. Es así que se pudieron definir 3 grupos o regiones que se utilizaron para el posterior análisis: Región Noroeste (NO), región noreste (NE) y Tucumán (TUC) (figura 1a). La región NO quedó constituida por 8 estaciones, la NE por 17 estaciones y la TUC por 5, quedando 7 estaciones sin clasificar. Para cada estación se generó la serie de porcentaje de precipitación normal. La misma fue calculada para cada mes como el cociente entre la precipitación del mes en cuestión y la precipitación normal esperada para ese mes, es decir el promedio de los valores para ese mes. Luego se multiplicó por 100 para expresarlo en porcentaje. Posteriormente se promediaron entre sí las series pertenecientes a cada área (NO, NE, TUC), generando una serie representativa de cada una de las áreas definidas.

Con el fin de favorecer la comprensión de los resultados que se detallarán en los apartados siguientes, se presentó la evolución anual de la precipitación (Figura 1b) y el porcentaje de la precipitación normal acontecida durante OND (Figura 1c) y EFM (Figura 1d) en cada una de las áreas antes definidas. El ciclo anual, si bien es marcado con lluvias estivales (Figura 1b), presenta algunas diferencias entre las zonas. Particularmente, la zona NE muestra valores de lluvia en primavera y verano, menores que en las otras dos zonas y con tendencia a la existencia de dos máximos relativos en otoño (marzo y abril) y primavera (noviembre). Las otras dos zonas tienen

una evolución media parecida aunque TUC tiene lluvias un poco superiores a NO.

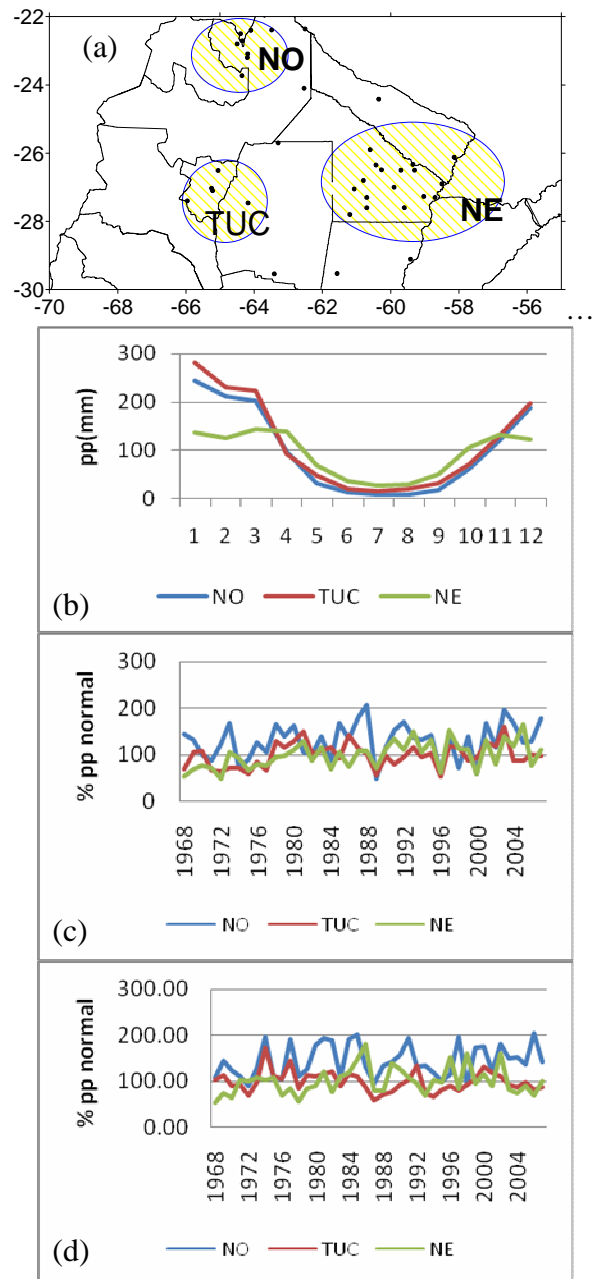


Figura 1. (a) Estaciones utilizadas en el trabajo y las áreas definidas que aseguran buena correlación entre la precipitación de las estaciones que conforman cada grupo. (b) Evolución de la precipitación media areal. (c) y (d) Porcentaje de la precipitación normal de OND y EFM respectivamente para cada una de las áreas definidas.

En las Figuras 1c y 1d se muestra la diferente respuesta que tienen las tres áreas con respecto a la fracción de la lluvia esperada para cada época del año estudiada. Estas series representativas de cada región, se correlacionaron con las anomalías de los campos de temperatura de la superficie del mar (TSM), las alturas geopotenciales en 1000 Hpa (G10), 500 Hpa (G5) y 200 Hpa (G2), la presión a nivel del mar (PNM), la humedad específica en el nivel de 925 hPa (HE), el viento zonal (U) y el meridional (V) en 850 Hpa, en el trimestre simultáneo y desfasando estas variables un mes antes de producida la precipitación. Por ejemplo, la precipitación de EFM se correlacionó con la TSM en EFM y en diciembre del año anterior. El número de años con los que se trabajó determinó que las correlaciones fueran significativas con el 95% de confianza cada vez que superen el valor de 0,31. Los datos de temperatura de la superficie del mar y de las demás variables atmosféricas fueron obtenidos de los reanálisis del National Center of Environmental Prediction (NCEP) (Kalnay y otros, 1996), que cuentan con una resolución de 2,5°x2,5°.

3. RESULTADOS

3.1. La relación entre la precipitación estival (EFM) con la TSM y las variables atmosféricas.

Los campos de correlación entre la serie de precipitación representativa de la región NE y las distintas variables atmosféricas muestran que los años con precipitación sobrenormal están asociados a un debilitamiento del anticiclón del Atlántico en superficie, rasgo que puede observarse en los campos de correlación con G10 (no mostrado) y PNM (Figura 2). Este debilitamiento probablemente genera las condiciones necesarias para que los sistemas frontales provenientes del sur lleguen activos a esta región. Por otro lado en altura, se asocian a una anomalía positiva en la región del Pacífico oriental (centrada en 45°S, 100°O aproximadamente) que genera un posible corrimiento de las bajas subpolares hacia el sur en esta región y una anomalía negativa en el Atlántico Sur (centrada en 45°S, 60°O) en latitudes medias, lo cual se ve plasmado en los campos de correlación de G2 (no mostrado) y G5 (Figura 3).

Este patrón está probablemente relacionado con los sistemas frontales cuando provienen del océano Pacífico, ingresando al territorio muy al sur del continente y luego tienen una trayectoria hacia el noreste, muy oceánica y que al arribar a la zona NE definida en este trabajo, favorecen la precipitación. Las correlaciones con el viento en capas bajas, permiten asociar la precipitación con vientos del este y debilitamiento de los vientos del norte sobre la región del Chaco (Figuras 4 y 5). El campo de TSM no muestra correlaciones muy significativas excepto en la región del Atlántico tropical relacionando la lluvia con el calentamiento de las aguas en esta región (Figura no mostrada). El campo de HE presenta correlación positiva significativa en la región del Atlántico en la entrada del anticiclón (alrededor de 25°S, 40°O) lo cual indica que la entrada de aire húmedo desde el océano (Figura 6) genera las condiciones necesarias para que con un movimiento de ascenso adecuado, se produzca precipitación.

El campo de correlación entre la precipitación representativa de la región NO y la TSM para los meses de EFM, muestra correlaciones negativas en la zona del Niño 12, asociando el aumento de la precipitación con la fase fría del fenómeno ENOS (Figura 7). También se asocia a altas subtropicales y bajas subpolares, ambas intensificadas sobre el Pacífico, y consecuentemente una intensificación de los oestes. Este fenómeno abarca toda la atmósfera y se pone de manifiesto en los campos de correlación G10, G5 (Figura 8) y G2. Por otro lado la correlación con PNM (Figura 9), muestra la asociación entre el debilitamiento del anticiclón del Atlántico con la producción de lluvias en la región, tal como se observó en la región NE.

La correlación entre la precipitación areal en TUC y la TSM (Figura no mostrada) muestran también asociación entre lluvias sobrenormales en los eventos La Niña, pero menos importantes que en el caso de la región NO. También, al igual que en las otras dos regiones aunque más débil, la precipitación se asocia al debilitamiento del anticiclón del Atlántico, aunque en este caso el centro de máxima correlación con PNM está desplazado hacia la zona tropical, y se extiende hacia el norte, sugiriendo una intensificación de la

Análisis de la precipitación en la llanura...

convergencia intertropical (Figura 10). Las correlaciones con las alturas geopotenciales también muestran una intensificación de los oestes sobre el Pacífico en todos los niveles (Figura no mostrada). Al igual que la región NE, tanto las

regiones NO como TUC muestran una buena correlación entre la lluvia y la HE en el noreste de Argentina y sur de Brasil, aunque de menor magnitud.

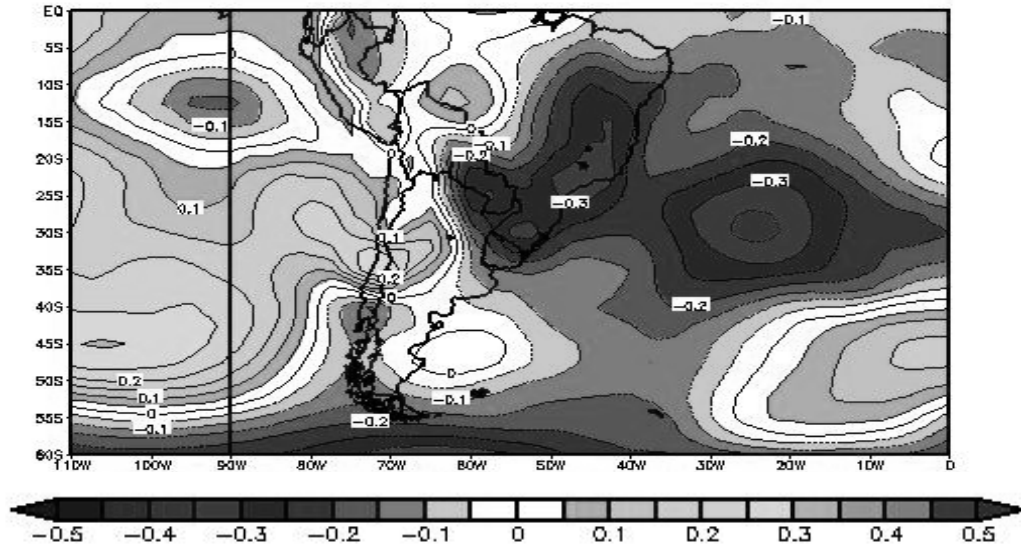


Figura 2. Correlación entre la precipitación de la región NE y la PNM para los meses EFM. Las isolíneas están trazadas cada 0,05.

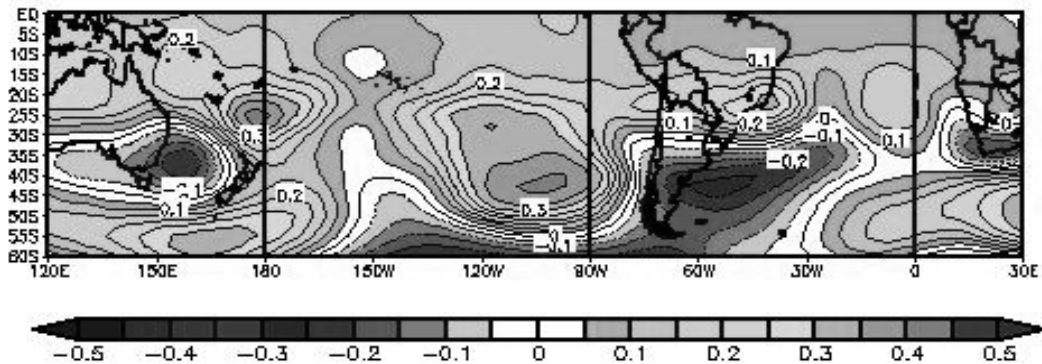


Figura 3. Correlación entre la precipitación de la región NE y G5 para los meses EFM. Las isolíneas están trazadas cada 0,05.

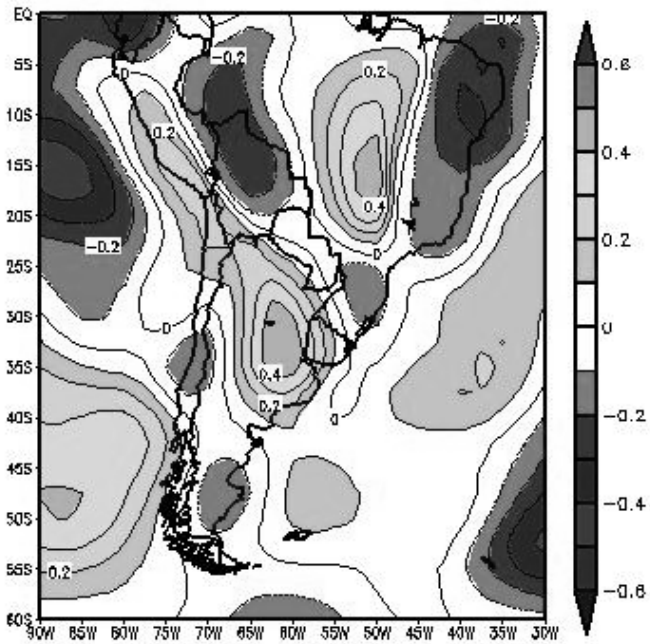


Figura 4. Correlación entre la precipitación de la región NE y el Viento Meridional para EFM. Las isolíneas están trazadas cada 0,1.

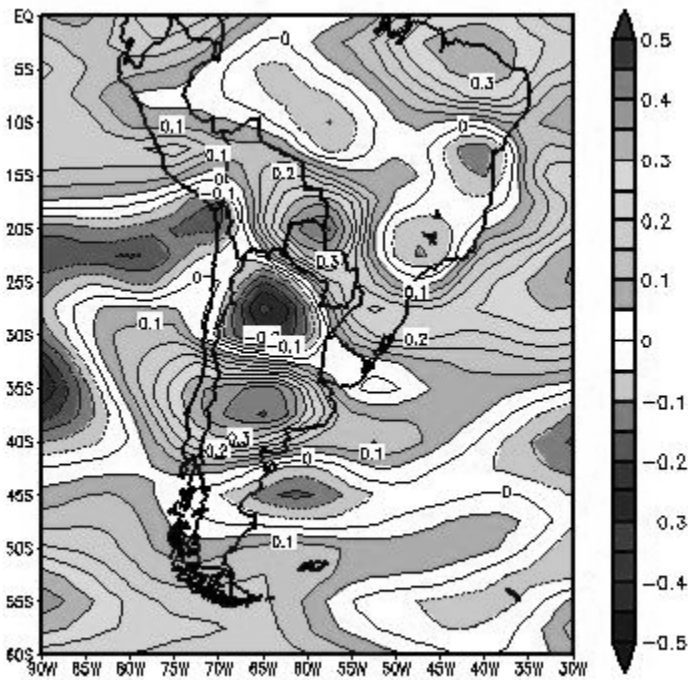


Figura 5. Correlación entre la precipitación de la región NE y el Viento Zonal para EFM. Las isolíneas están trazadas cada 0,05.

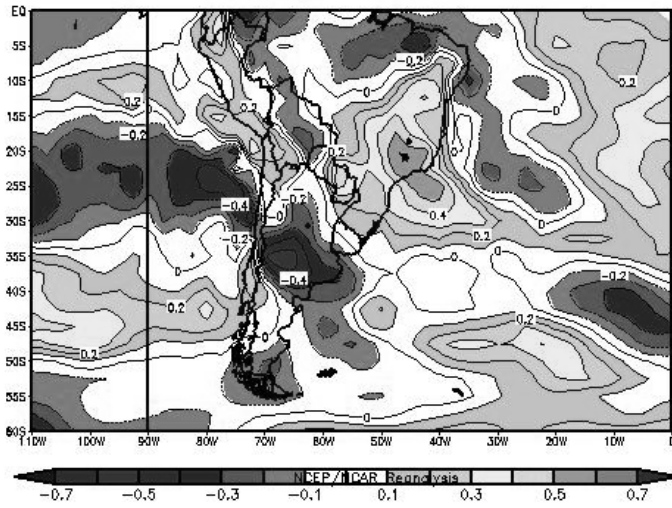


Figura 6. Correlación entre la precipitación de la región NE y la HE para los meses EFM. Las isóneas están trazadas cada 0,1.

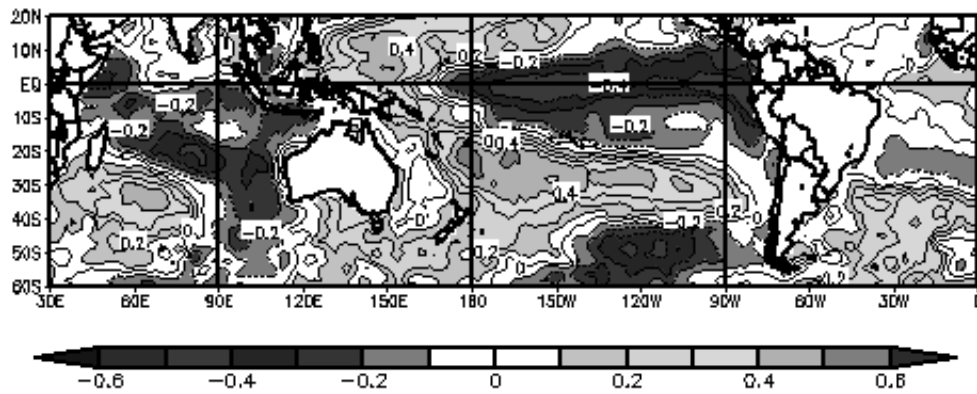


Figura 7. Correlación entre la precipitación para la región NO y la TSM para los meses EFM. Las isóneas están trazadas cada 0,1.

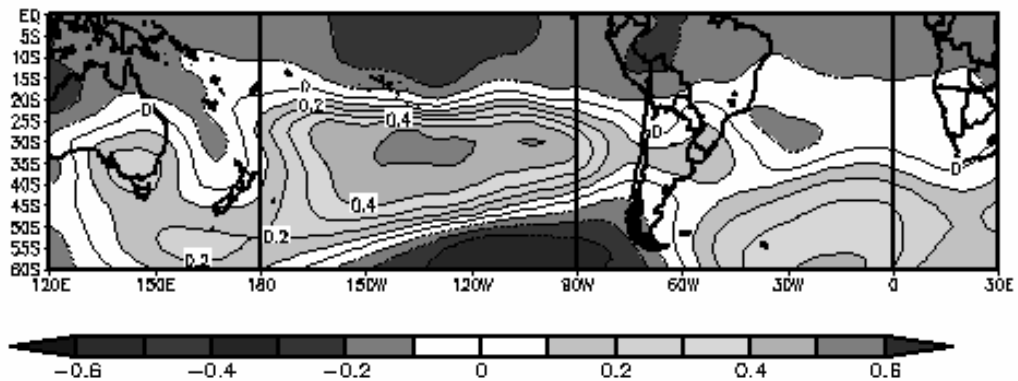


Figura 8. Correlación entre la precipitación en la región NO y G5 para los meses EFM. Las isóneas están trazadas cada 0,1.

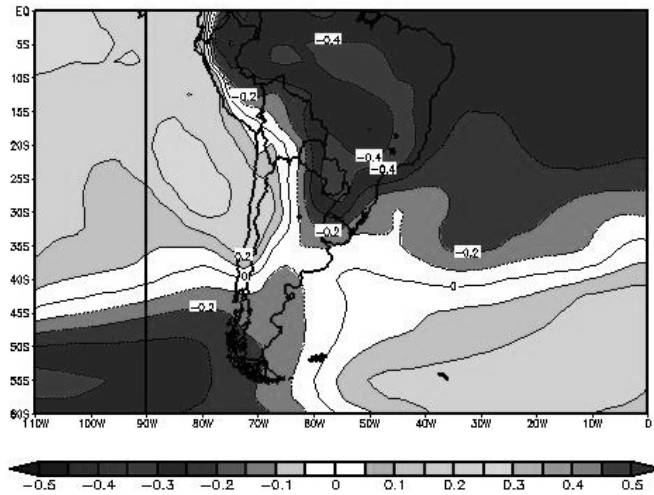


Figura 9. Correlación entre la precipitación en la región NO y PNM para los meses EFM. Las isóneas están trazadas cada 0,1.

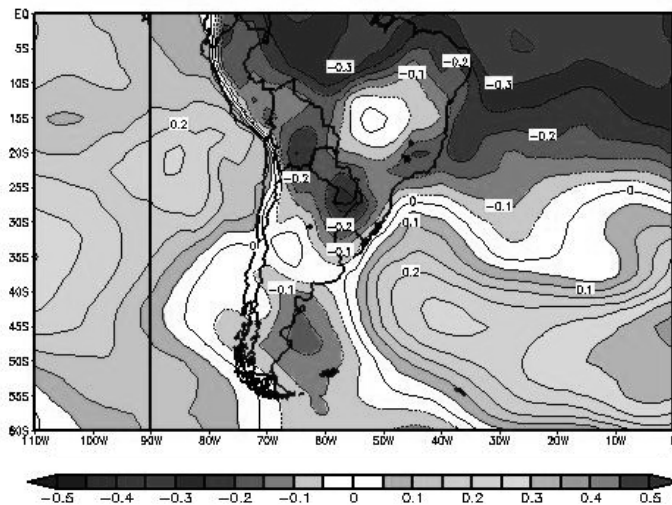


Figura 10. Correlación entre la precipitación de la región TUC y la PNM para los meses EFM. Las isóneas están trazadas cada 0,05.

3.2. La relación entre la precipitación primaveral (OND) con la TSM y las variables atmosféricas.

En la región NE la relación entre la precipitación y la TSM durante OND muestra la conocida asociación con el calentamiento en el Pacífico ecuatorial (fase cálida del fenómeno ENOS), tal como fue descrito por otros autores (Grimm y otros 2000, Vargas y otros 1999) y también con

enfriamientos en el Pacífico sur en las cercanías de las costas sudamericanas al sur de 40°S (Figura 11). En los campos de correlación con las alturas geopotenciales puede observarse que la lluvia se asocia a una anomalía negativa en todos los niveles (G2, G5 y G1000) en el Pacífico sur y sobre la Patagonia y a una intensificación de las altas subtropicales en el Atlántico y sur de Brasil, sólo en altura, generando un dipolo con eje noreste-sudoeste. La anomalía negativa sobre la Patagonia

provee la dinámica necesaria para la alimentación y mantenimiento de los sistemas frontales. La Figura 12 muestra el campo de correlación con G5, donde se ilustra este patrón. En las regiones NO y TUC los análisis muestran que la precipitación se puede asociar a los mismos patrones de geopotencial descriptos para la región NE (Figuras no mostradas). En los campos de correlación con la

TSM la relación con la fase cálida del ENOS se encuentra muy debilitada pero se mantiene la relación con el núcleo frío en la costa sur de Sudamerica en el Pacífico. En primavera, todas las regiones muestran una relación significativa entre la precipitación y HE en el noreste de Argentina, especialmente alta en el caso de la región NE.

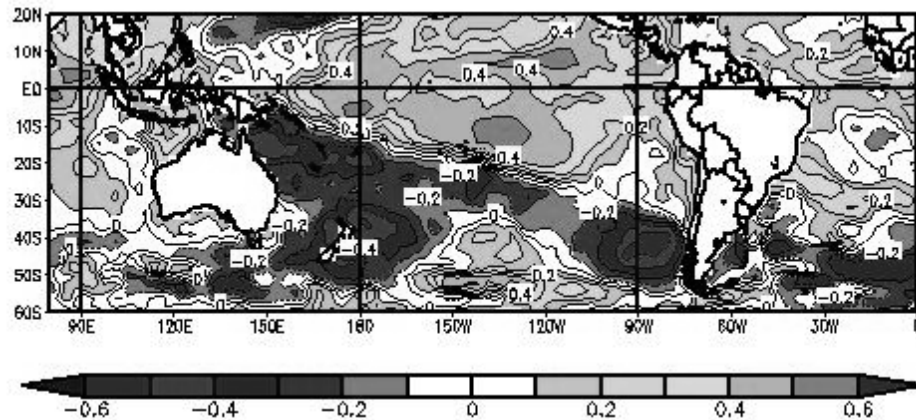


Figura 11. Correlación entre la precipitación de la región NE y la TSM para los meses OND. Las isolíneas están trazadas cada 0,1.

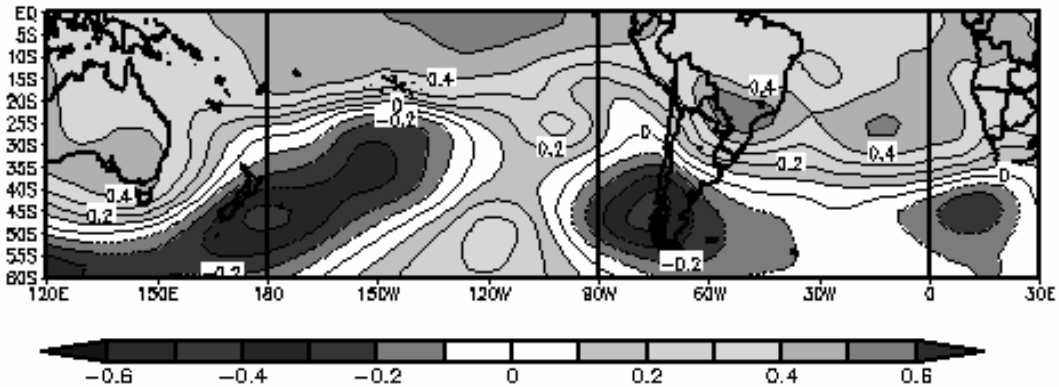


Figura 12. Correlación entre la precipitación de la región NE y G5 para los meses OND. Las isolíneas están trazadas cada 0,1.

3.3. La relación entre la precipitación estival (EFM) y primaveral (OND) con la TSM y las variables atmosféricas durante el mes previo.

En esta sección se analizará la relación existente entre la variabilidad interanual de la precipitación en las subregiones antes definidas en EFM y en OND con la TSM y demás variables atmosféricas

observadas durante el mes previo a la lluvia (Diciembre o Setiembre, dependiendo del caso). Estos resultados son importantes cuando se trata de ver la posibilidad de predictabilidad de la lluvia estacional. Se detallarán aquellos patrones de los campos de correlación que, habiéndose observado en las correlaciones simultáneas, también aparecen como señales significativas cuando las mismas se

calculan desfasando las variables en un mes. El rasgo más importante es la relación entre la precipitación estival en las tres subregiones con el debilitamiento del anticiclón del Atlántico durante el mes previo (diciembre), especialmente notable en la región NE (Figura 13). En esta región (NE) también se observa que la lluvia se asocia a la intensificación de las altas subtropicales en el Pacífico Sur en toda la atmósfera pero con valores de correlación particularmente importantes en capas altas (G2) (Figura 14) durante el mes de diciembre. Los patrones observados para el viento en capas bajas, también se mantienen, asociando las precipitaciones estivales con vientos del este y debilitamiento de los vientos del norte en diciembre (Figuras 15 a y b).

En el caso de las regiones NO y TUC, se observa que la correlación entre la lluvia estival y la TSM en diciembre, es mayor comparada con la obtenida en forma simultánea en la región del ENOS, corroborando la asociación de la lluvia estival con la fase fría del ENOS (Figuras 16 y 17). No se

observa señal significativa en los campos de correlación con el geopotencial y se mantiene la relación entre la precipitación y el debilitamiento de la componente norte del viento en diciembre. Finalmente se construyeron los campos de correlación entre la precipitación de primavera (OND) representativa de las tres subregiones con las variables observadas el mes previo (setiembre). En todos los campos de las tres subregiones, se observó una disminución de la señal, salvo en el caso de la TSM en la región NE donde la presencia de la fase cálida del ENOS en setiembre es indicativa de lluvias superiores a las normales en OND y donde también se mantiene la anomalía negativa en la costa sudamericana del Pacífico. En el caso particular de las alturas geopotenciales, no se observa el comportamiento dipolar descrito para las correlaciones simultáneas, sin embargo, cabe destacar el debilitamiento observado en las altas subtropicales en el Pacífico central en todos los niveles y en todas las regiones. En particular, la Figura 18 detalla este campo de correlación para la región NE en 500 Hpa.

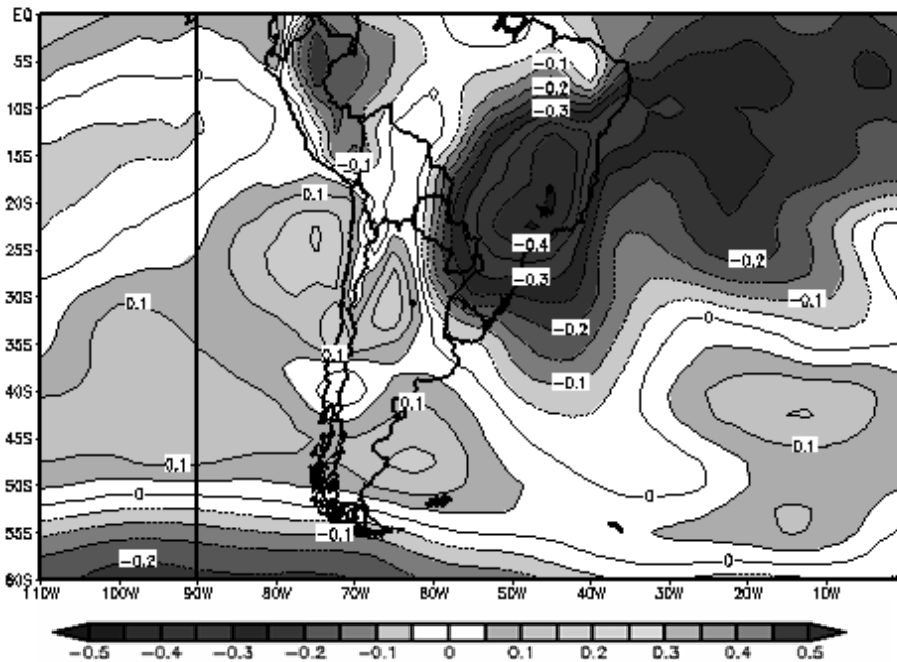


Figura 13. Correlación entre la precipitación para la región NE en EFM y la PNM en Diciembre. Las isóneas están trazadas cada 0,05.

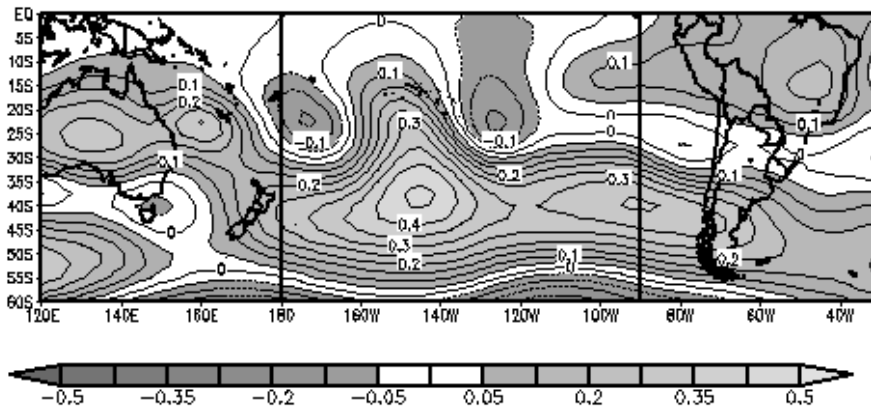


Figura 14. Correlación entre la precipitación para la región NE en EFM y G2 en Diciembre. Las isolíneas están trazadas cada 0,05.

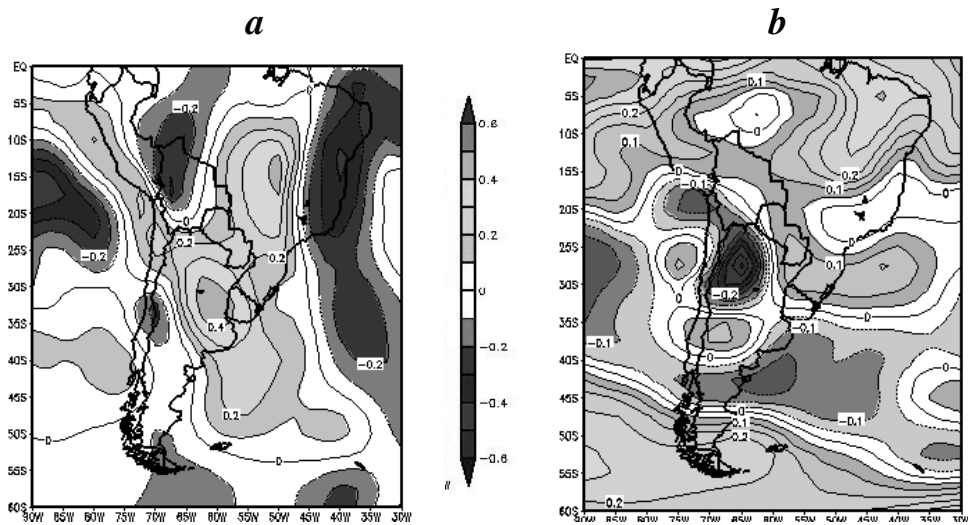


Figura 15. Correlación entre la precipitación para la región NE en EFM y V (a) y U (b) en Diciembre. Las isolíneas están trazadas cada 0,1 en (a) y 0,05 en (b)

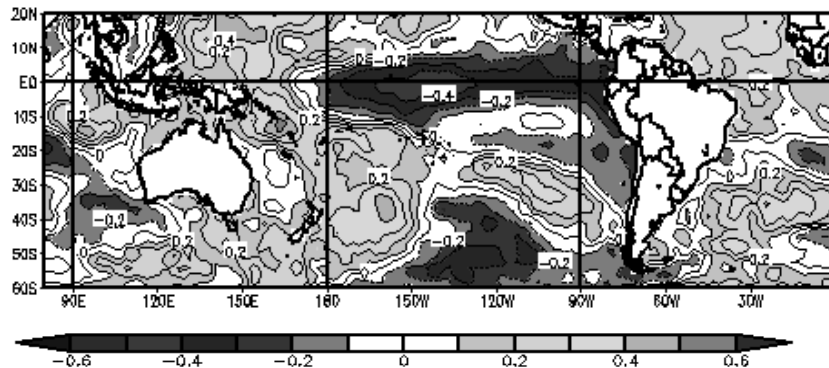


Figura 16. Correlación entre la precipitación para la región NO en EFM y TSM en Diciembre. Las isolíneas están trazadas cada 0,1.

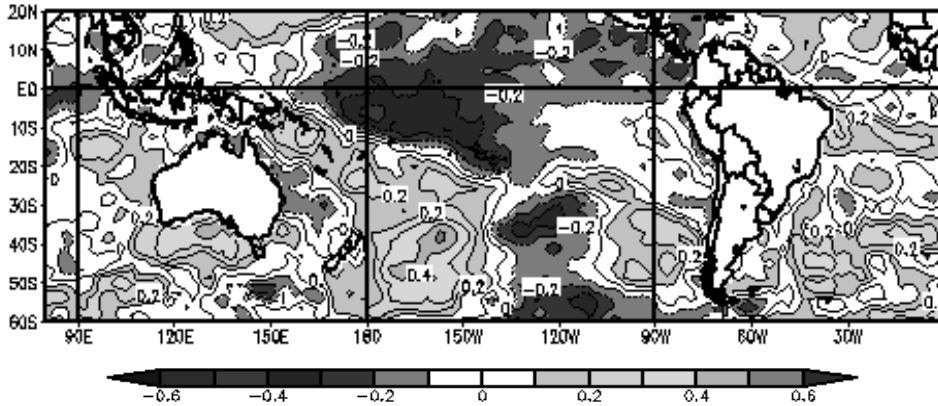


Figura 17. Correlación entre la PP para la región TUC en EFM y TSM en Diciembre. Las isóneas están trazadas cada 0,1.

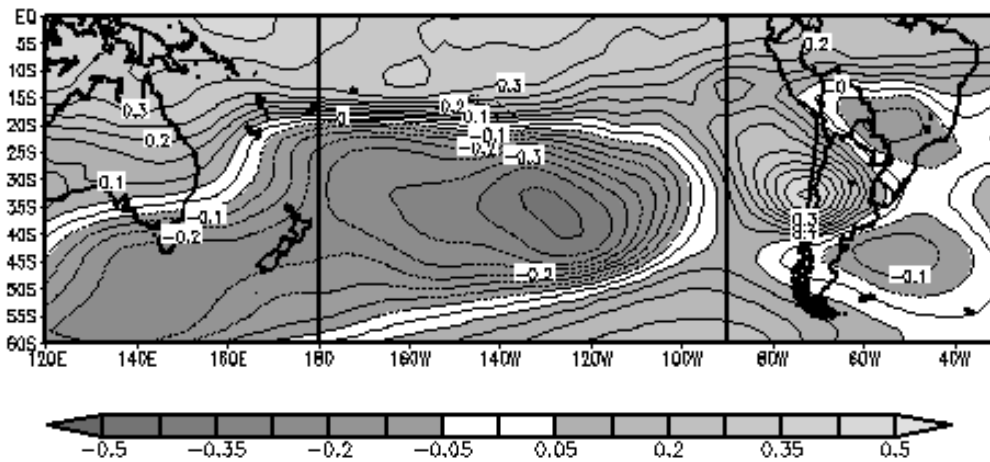


Figura 18. Correlación entre la precipitación para la región NE en OND y G5 en Setiembre. Las isóneas están trazadas cada 0,05

4. CONCLUSIONES

Se trabajó con series de porcentaje de la precipitación normal media en tres subregiones de la zona chaqueña, en los meses cuando la variable alcanza sus máximos valores, es decir, verano y primavera. Se regionalizó el análisis en 3 grupos: NO, NE y TUC y se correlacionaron dichas series con distintas variables características de la circulación atmosférica y la temperatura de la superficie de mar, en un período de tiempo simultáneo.

Para los meses de verano (EFM), el estudio muestra que la precipitación en las tres regiones se asocia a un debilitamiento del anticiclón del Atlántico en capas bajas. En el caso de la región

NE también se asoció al pasaje de frentes derivado de un corrimiento hacia el sur de las bajas subpolares en el Pacífico oriental y a una anomalía negativa de G5 en el Atlántico sur. La precipitación estival de las regiones NO y TUC se ve favorecida por la fase fría del ENOS y por una intensificación del flujo de los oestes en el Pacífico.

En el caso de la precipitación de primavera todas las regiones muestran que la lluvia está asociada a un dipolo formado por una anomalía negativa de geopotencial en todos los niveles en el Pacífico sur y sobre la Patagonia y una intensificación de las altas subtropicales en el Atlántico y sur de Brasil. Con respecto a la TSM, la lluvia se asocia a la fase cálida del fenómeno ENOS especialmente en la región NE. Todas las regiones presentaron tanto en

primavera como en verano, una buena relación entre la lluvia y la HE en el noreste de Argentina. Se analizaron los patrones de correlación resultantes cuando se consideraron la TSM y las variables atmosféricas desfasadas un mes previo a la lluvia. El rasgo más importante es la relación entre la precipitación estival en las tres subregiones con el debilitamiento del anticiclón del Atlántico durante el mes previo (diciembre), especialmente en la región NE donde también se asocia a vientos del este y un debilitamiento del viento del norte en capas bajas. En el caso de las regiones NO y TUC, se observa que la correlación entre la lluvia estival y la TSM en diciembre, es mayor comparada con la obtenida en forma simultánea en la región del ENOS, corroborando la asociación de la lluvia estival con la fase fría del ENOS.

Para las lluvias de primavera, las señales disminuyen en todas las variables excepto en la TSM en la región NE donde la presencia de la fase cálida del ENOS en setiembre es indicativa de lluvias superiores a las normales en OND. También se observó un debilitamiento de las altas subtropicales en el Pacífico en setiembre, asociadas a lluvias en las tres subregiones definidas. Estos últimos resultados indican la presencia de cierto grado de predictabilidad para la precipitación estacional con un mes de antelación, especialmente en la estación de verano.

Agradecimientos: Al Servicio Meteorológico Nacional, la Agencia Provincial de Aguas de Chaco, la Comisión Regional del Río Bermejo y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación por la generosa provisión de datos de precipitación. Las imágenes de las figuras 2 a 18 fueron provistas por NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado desde su página web: <http://www.cdc.noaa.gov> Este trabajo fue subsidiado por los proyectos: UBACyT Interdisciplinario CC02, UBACyT X160 y CONICET PIP 112-200801-00195.

REFERENCIAS

Adamoli, J., Torrela, S. y Ginzburg, R., 2004. Diagnóstico Ambiental del Chaco Argentino. Gestión Integrada y Desarrollo Sostenible para reducir la degradación social, económica y

ambiental del Gran Chaco Americano. Informe de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina.

Barros, V., Castañeda E. y Doyle M, 2000a. Precipitation trends in Southern South America, east of the Andes: An indication of climate variability. *Southern Hemisphere Paleo-and Neoclimates: Key Sites, Methods, Data and Models*, 187-208, Springer

Barros, V., González, M., Liebmann, B. y Camilloni, I., 2000b. Influence of the South Atlantic Convergence Zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in southeastern South America, *Theoretical and Applied Climatology*, ed. Springer, vol. 67, n° 3 y 4, 123-133 pp.

Doyle, M. y Barros, V., 2002. Mid-summer low level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperature anomalies in the South Atlantic. *Journal of Climate*, 15, 3394-3410.

Castañeda, E. y Barros, V., 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Meteorologica*, 19, 1, 23-32.

González, M., Castañeda, E. y Texeira Neri, J., 2005. Evolución de la precipitación en el noreste de Argentina y sur de Brasil. *Congremet IX*, 3-7 octubre, Buenos Aires, Argentina, ISBN 987-22411-0-4.

González, M., Montroull, N. y Spennemann, P., 2008. Características de la precipitación en la llanura chaqueña argentina. *XII Reunión de Agrometeorología*, 6-10 octubre, Jujuy, Argentina.

Grau, H.R., N.I. Gasparri, and T.M. Aide. 2005. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environmental Conservation* 32 (2): 140-148.

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.

Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu I, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewski C, Wang J, Leetmaa A, Reynolds R, Jenne R, Joseph D., 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40 years-project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.

Lund, I.A., 1963. Map pattern classification by statistical methods. *Journal of Applied Met.* **2**, 56-65.

Paruelo, J.M., Guerschman, J.P., Piñeiro, G., Jobbagy, E.G., Veron, S.R., Baldi, G. y Baeza, S. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agraciencia*, X, **2**, 47-61.

Ropelewsky y Halpert, 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, **115**, 2161-2165.

Silvestri, G. y Vera, C., 2003. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophysical Research Letters*, **30** (21), 21-15.

Vargas, W., Penalba, O. y Minetti, J., 1999. Las precipitaciones mensuales en zonas de la Argentina y el ENOS. Un enfoque hacia problemas de decisión. *Meteorologica*, **24**, 3-22.