Revista de Climatología

Vol. 6 (2006): 13-20 ISSN 1578-8768

©Copyright de los autores de cada artículo. Se permite su reproducción y difusión por cualquier medio, siempre que se haga sin interés económico y respetando su integridad

Teleconexiones y precipitación en América del Sur

Lorrain Giddings y Margarita Soto

Instituto de Ecología, S.A., Xalapa, Veracruz, 91020 México
(giddings@ecologia.edu.mx, sotom@ecologia.edu.mx)

(Recibido: 30-Ago-2006. Publicado: 25-Oct-2006)

Resumen

Las teleconexiones pueden ser usadas como evidencia para explicar relaciones entre fenómenos meteorológicos. En el presente trabajo se presentan para América del Sur las teleconexiones de la precipitación a través del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) con algunos de los índices más conocidos. Entre otros aspectos se muestra que las teleconexiones con el índice de NINO34 tienden a ser negativas en el norte del continente y positivas en el sur. El artículo contiene ilustraciones que muestran la localización y extensión geográfica de las teleconexiones con los índices estudiados.

Palabras clave: teleconexión, El Niño, precipitación, América del Sur, Sud América, índices meteorológicos.

Abstract

Teleconnections are often used as evidence for explaining relations between meteorological phenomena. Here we present the teleconnections of the rainfall of South America in the form of SPI-1, with a variety of standard indexes. The teleconnections with the NINO34 time series are shown to be negative in the north of the continent, and tend to be positive in the south, in agreement with previous studies. The article contains figures that show the geographical extent and size of the teleconnections with these indexes.

Key words: *teleconnections, El Niño, precipitation, South America, meteorological indexes.*

1. Introducción

Una teleconexión está definida por la Sociedad Americana de Meteorología (American Meteorological Society, AMS 2000) como:
"1. Un enlace entre cambios del tiempo que ocurren en regiones separadas por grandes distancias del globo terráqueo. 2. Una correlación significativa, positiva o negativa, en las fluctuaciones de un campo en puntos separados por grandes distancias. Normalmente aplicado a la variabilidad en escalas de tiempo mensuales y mayores, el nombre se refiere al hecho de que tales correlaciones sugieren que la información se está propagando entre los puntos distantes por la atmósfera."

En un trabajo anterior (Giddings y Gómez, en prensa) se exploró la teleconexión de El Niño con las lluvias de América del Sur. Se usó la correlación de series de tiempo de SPI-1 de estaciones individuales con el índice, NINO34.

En este artículo los autores simplemente ilustran las teleconexiones que existen entre la precipitación de América del Sur y una variedad de índices utilizados por climatólogos y meteorólogos para estudiar el tiempo. Igualmente se presentan algunos comentarios sobre las correlaciones entre los diversos índices empleados. No se debe perder de vista que el propósito del trabajo es únicamente ilustrar las teleconexiones con la lluvia, usando como marco de comparación el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI-1).

Es muy importante hacer notar que las teleconexiones no implican necesariamente relaciones causales. De las imágenes que aquí se presentan es muy evidente que tales relaciones causales tienen un alto grado de complejidad. Sin embargo, reconocemos que es posible que la falta de teleconexión puede indicar una falta de relación causal.

2. Metodología

2.1. Fuentes de datos

Los datos de precipitación fueron tomados de la Red Climatológica Histórica Global (*Global Historical Climatology Network*, GHCN 2005, Giddings y Soto 2006), que es una base de datos climática disponible mediante el Internet, a la cual los países contribuyen voluntariamente. Su ventaja es que tiene datos de temperatura y precipitación de todo el mundo. Su desventaja es que hay países que no donan muchos datos, y la gran mayoría de ellos retardan sus contribuciones. Además, tiene pocos datos para la zona angosta de la costa del Océano Pacífico. Los datos mensuales de precipitación que usamos para este trabajo abarcan de 1948 a 2004.

En la tabla 1 se presentan los índices que se consideran en este trabajo. Todos los datos están en forma de series de tiempos mensuales. Los datos fuente que se presentan en la tabla referida siempre incluyen un URL para conseguir los mismos datos. La localización de los índices estudiados se observa en la figura 1.

2.2. Índice Estandarizado de la Precipitación

Con los datos de precipitación de cada una de las estaciones consideradas se calculó el Índice Estandarizado de Precipitación, al cual se le conoce con el acrónimo de SPI. Las siglas provienen de su nombre en inglés, *Standardized Precipitation Index*. Edwards y McKee (1997) desarrollaron este índice basado en la función Gamma, la cual es más acorde con la distribución de la lluvia. El SPI es un índice que se puede calcular con base en varios periodos de tiempo; se ha hecho para 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 meses. Como ejemplos, SPI-1 refiere a un mes, mientras SPI-6 refiere a seis meses. En el presente trabajo usamos SPI-1.

Tabla 1: Los índices considerados en el presente trabajo.

Índice	Denominación	Descripción	Localización
AAO**	Oscilación antártica	Unidades arbitrarias basadas en anomalías de 700 mb alturas	Anillo antártico
AO**	Oscilación ártica	Unidades arbitrarias basadas en anomalías de 1000 mb alturas	Anillo ártico desde 20N
GL***	Temperatura global superficial del mar	Anomalía del promedio de la TSM (temperatura superficial del mar)	30S a 60N
NAf***	Atlántico norteño	Anomalía del promedio de la TSM	35N a 70N, 75W a 10W
NAO***	Oscilación del Atlántico norteño	PNM (presión al nivel del mar); diferencia de Azores (o Gibraltar) e Islandia	38.5N, 28.7W a 64.1N, 21.9W
NINO34***	Pacífico Tropical central Oriental	Anomalía del promedio de la TSM; hay otros índices similares de áreas adyacentes del mar.	5N a 5S, 170W a 120W
NP***	Pacífico norteño	Anomalía del promedio de la TSM	5N a 5S, 150E a 120W
SOI**	Oscilación sureña	PNM diferencia de Tahití y Darwin	12.4S,130.9E a 17.5S,14.6W
Sun****	Manchas Solares	Manchas solares	Solares
TNA**	Atlántico tropical norteño	Anomalía del promedio de la TSM	5.5N a 23.5N, 15W a 57.5W
TSA**	Atlántico tropical	Anomalía del promedio de la TSM	Ecuador a 20S, 10E a 30W
WP**	Pacífico occidental (Warm Pool: ”poza cálida”)	Anomalía del promedio de la TSM	5N a 5S, 120E a 170E

Documentación y Fuentes de datos:
** http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/List/ (CDC[a], 2006)
*** http://irid1.deo.columbia.edu/SOURCES/.KAPLAN/.Indices/overview.htm (IRI, 2006)
**** http://www.cdc.noaa.gov/Pressure/Timeseries/SUNSPOT/ (CDC[b], 2006)

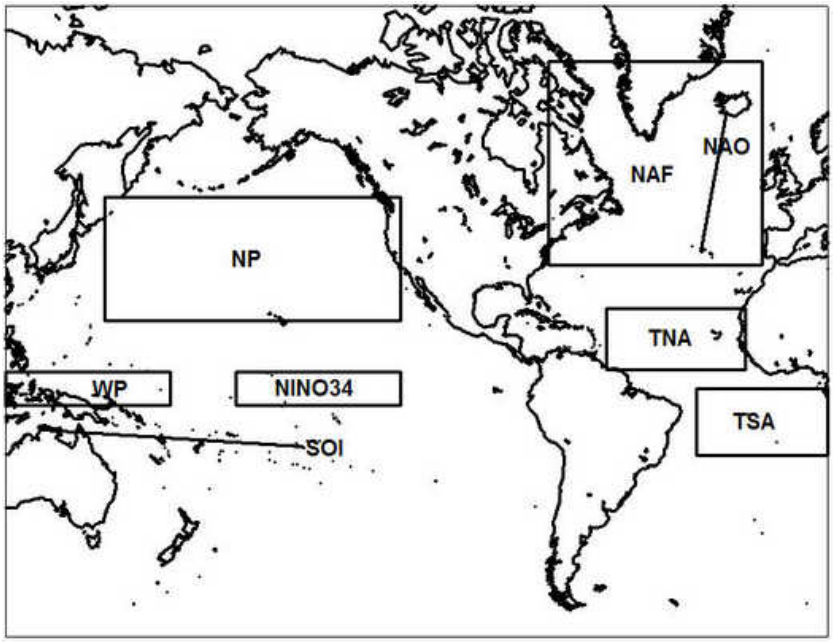

Fig. 1: Ubicación de los índices usados en este trabajo excepto los índices GL (TSM global entre 30N y 30S), AO (oscilación ártica), AAO (oscilación antártica) y SUN (manchas solares). Las áreas representan promedios de temperatura superficial del mar. Las líneas representan diferencias de presiones en la presión atmosférica a nivel del mar.

En el Índice Estandarizado de Precipitación cada valor mensual es comparado con todos los registros existentes del mes o meses en cuestión. Por ejemplo, un valor de 1.0 para SPI-1 de abril de 1950 indica que la precipitación de ese mes es 1.0 desviación estándar por encima de todos los abriles del registro de esa estación (no de todos los meses del registro). De la misma manera un valor de -1.0 para SPI-3 de abril de un año es 1.0 desviación estándar por debajo de todos los periodos de febrero-marzo-abril del registro. SPI regularmente varía entre -3 y +3.

Ya que el SPI trata de estadísticas en vez de valores, su aplicación es factible para estudiar zonas secas al igual que húmedas. Por eso es importante reconocer que un periodo de bajo SPI para una zona húmeda (tal como el Amazonas) puede representar mucha más precipitación que uno de alto SPI en una zona más seca (tal como el Altiplano Boliviano).

2.3. Procedimiento

Considerando la definición de teleconexión antes mencionada, una manera de estudiarlas es mediante la correlación lineal entre las series de tiempo. En el presente trabajo hacemos uso de la función @PEARSON, de Quattro Pro 12 (Corel 2006), que devuelve el coeficiente de correlación momento-producto de Pearson, que mide la asociación lineal entre dos series de tiempo.

Las funciones antes referidas se aplican a las series de tiempo de SPI-1 de estaciones meteorológicas existentes en América del Sur. Se usaron 2016 estaciones, las cuales tenían más de 300 valores válidos entre enero de 1948 y diciembre de 2004. La localización y distribución de éstas se muestra en la figura 2. Los datos de éstas fueron manejados a través de Quattro Pro.

La función @PEARSON se aplicó tres veces a cada estación y se obtuvo así cada índice, exactamente en fase, y un mes fuera de fase en ambas direcciones. Se usó el promedio de los tres valores.

Posteriormente, para cada índice se utilizó Surfer (Golden, 1999) para preparar una red de valores. Mediante Kriging se interpolaron para toda la imagen del continente. Cada red fue convertida en una imagen de contornos por el mismo programa (figuras 3 a 14).

También la función @PEARSON se aplicó a cada índice con respecto a todos los demás índices. La tabla 2 presenta las correlaciones de cada índice con respecto a todos los índices.

La figura 14 muestra el número de manchas solares. El objeto de presentarla es para fines de comparación.

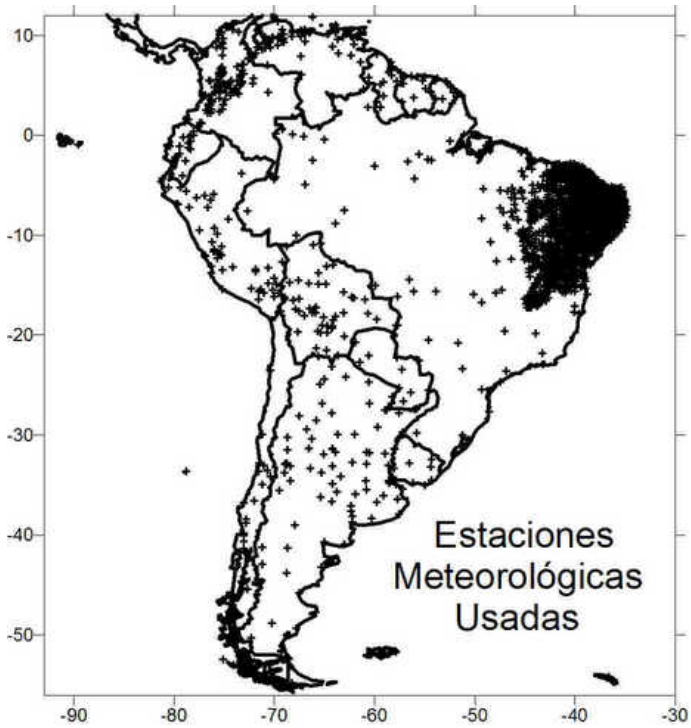

Fig. 2: Puntos usados en las interpolaciones

Tabla 2: Correlación entre los índices, con las más significativas en colores.

	AAO	AO	GL	NAf	NAO	Nino34	NP	SOI	Sun	TNA	TSA	WP
AAO	1	-0.01	-0.09	0.01	0.05	-0.17	0.02	0.12	-0.06	0.06	0.08	-0.05
AO	-0.01	1	-0.03	-0.07	0.62	-0.06	0.10	0.06	0.05	-0.22	0.04	0.02
GL	-0.09	-0.03	1	0.01	0.01	0.56	-0.15	-0.48	0.28	0.40	0.40	0.29
NAf	0.01	-0.07	0.01	1	-0.06	-0.10	0.16	0.03	0.06	0.33	-0.27	-0.23
NAO	0.05	0.62	0.01	-0.06	1	0.00	0.06	0.00	0.07	-0.17	-0.03	0.01
Nino34	-0.17	-0.06	0.56	-0.10	0.00	1	-0.21	-0.64	0.04	0.18	0.06	-0.05
NP	0.02	0.10	-0.15	0.16	0.06	-0.21	1	0.21	0.26	-0.12	-0.12	-0.04
SOI	0.12	0.06	-0.48	0.03	0.00	-0.64	0.21	1	0.00	-0.12	-0.01	0.15
Sun	-0.06	0.05	0.28	0.06	0.07	0.04	0.26	0.00	1	0.13	-0.14	0.11
TNA	0.06	-0.22	0.40	0.33	-0.17	0.18	-0.12	-0.12	0.13	1	0.06	0.06
TSA	0.08	0.04	0.40	-0.27	-0.03	0.06	-0.12	-0.01	-0.14	0.06	1	0.29
WP	-0.05	0.02	0.29	-0.23	0.01	-0.05	-0.04	0.15	0.11	0.06	0.29	1

3. Resultados

3.1. Índices Localizados en el Océano Pacífico

De los índices que se localizan en el Océano Pacífico con el que el público en general está más familiarizado es con El Niño, ocurriendo lo mismo con su teleconexión. El NINO34 es el índice recomendado para estudios de éste fenómeno por acuerdo de la National Oceanic & Atmospheric Administration de U.S.A (NOAA, 2005). La figura 7 muestra la teleconexión de este fenómeno con la lluvia. En ésta es evidente que El Niño está relacionado con la disminución de las lluvias en el norte y noroeste del continente incluyendo Colombia, Guyana, Surinam, y partes de Brasil. Este aspecto ha sido ya reportado por UNEP (2000), FAO (1998), y otros.

Por otra parte, se debe mencionar que El Niño está también relacionado con el aumento de las lluvias en el sur del continente, según han reportado Grimm (2000) y otros. Diversos trabajos reseñan que El Niño coincide con un notable aumento de lluvias en la angosta costa pacífica del continente, aunque por falta de estaciones en dichas áreas, no es evidente dicha información. Hay otras zonas en México y Estados Unidos de América donde también hay aumento de la precipitación.

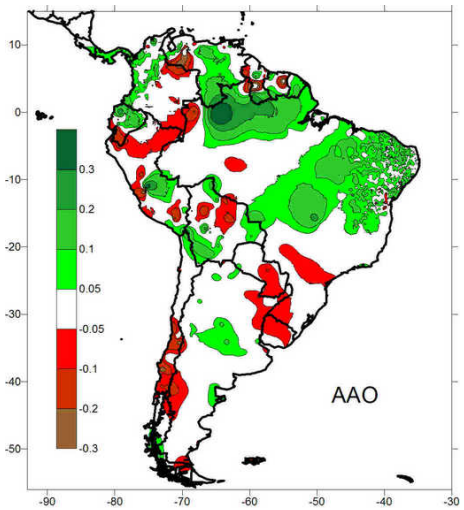

Fig. 3: Oscilación antártica

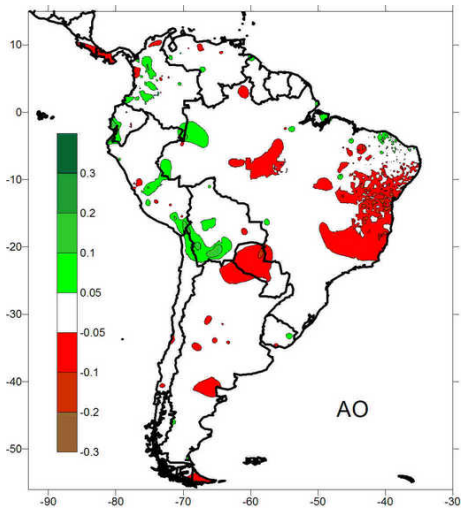

Fig. 4: Oscilación ártica

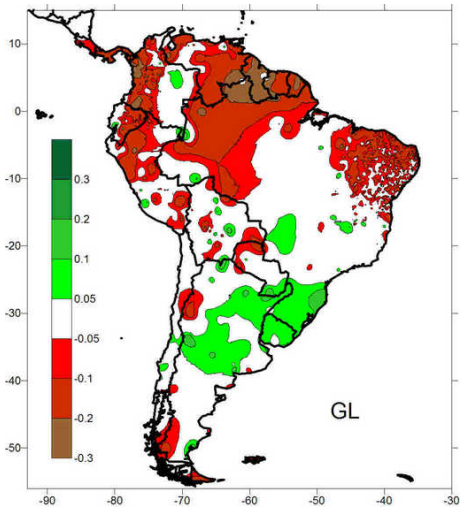

Fig. 5: Temperatura superficial del mar global

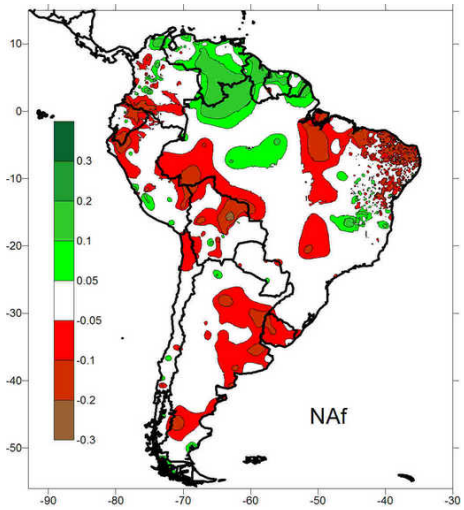

Fig. 6: Atlántico norteño

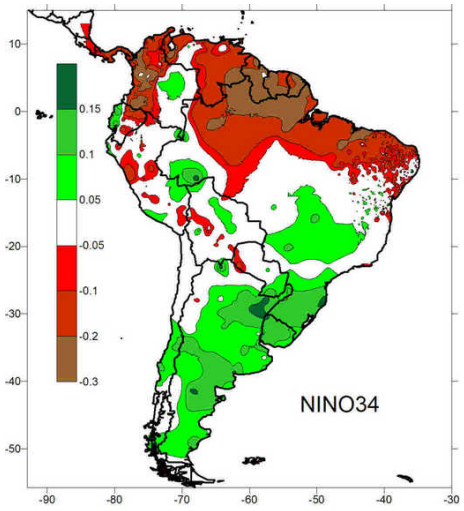

Fig. 7: NINO34

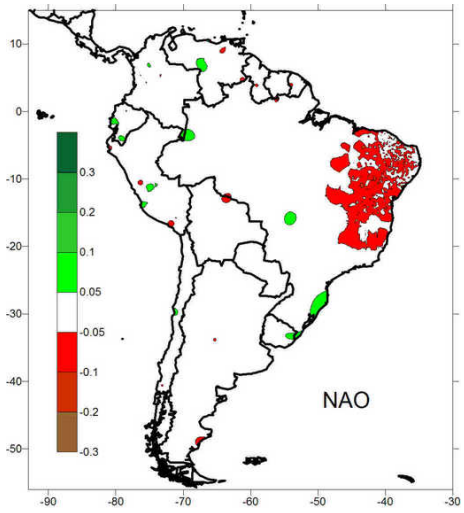

Fig. 8: Oscilación del Atlántico norteño

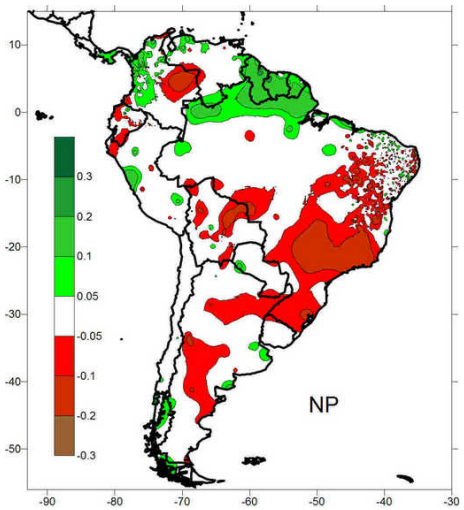

Fig. 9: Pacífico norteño

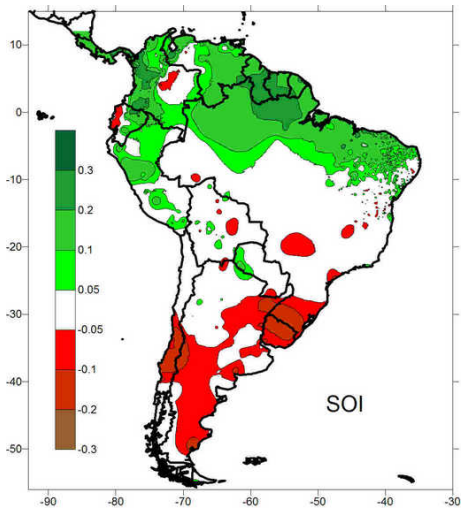

Fig. 10: Oscilación sureña

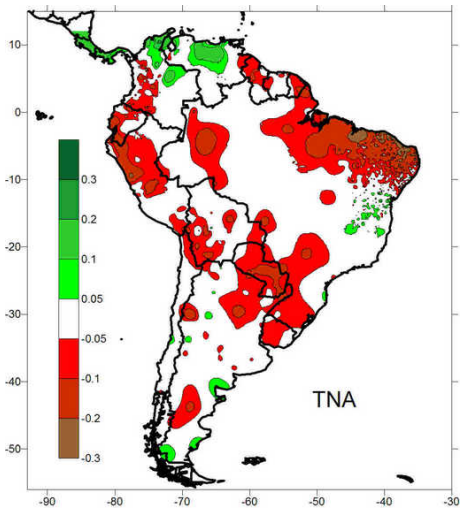

Fig. 11: Atlántico tropical norteño

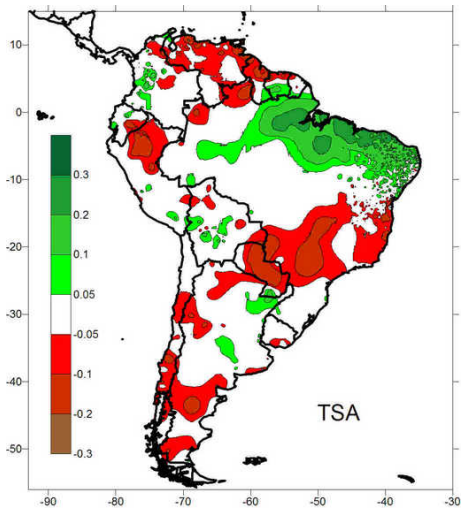

Fig. 12: Atlántico tropical sureño

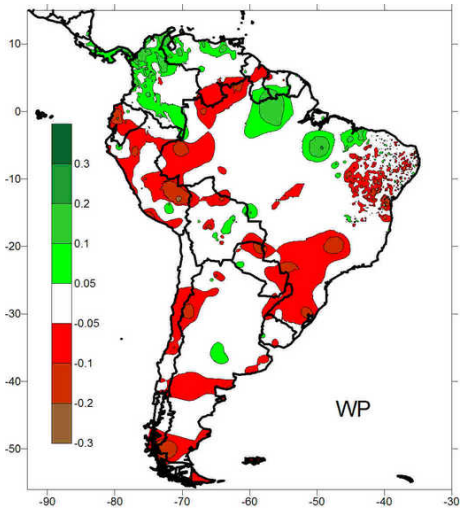

Fig. 13: Pacífico occidental (Warm Pool: "poza cálida")

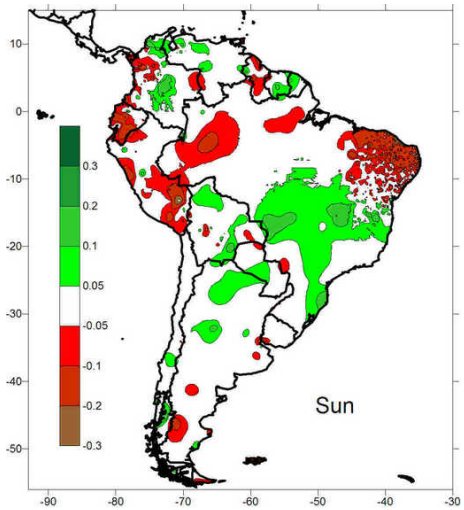

Fig. 14: Manchas Solares

La relación de la precipitación (SPI-1) con la Oscilación sureña (SOI) se muestra en la figura 10. Se aprecia que ambos están directamente relacionados, aunque en este caso es de forma negativa. Es decir, se observa que en este caso la parte norte de América del Sur la precipitación disminuye en tanto que en la región sur aumenta, en suma de forma inversa que con NINO34. En la tabla 2 se observa que la correlación de NINO34 y SOI, es -0.69. Algunos autores indican que tal relación es causal (NINO34 es adyacente a NINO3) (IRI 2006).

Por lo que se refiere al índice de temperatura superficial global (GL) el cual corresponde a la anomalía del promedio de la temperatura superficial del mar también tiene teleconexión con El Niño. En la figura 5 se observa que la relación con las lluvias del continente es similar, aunque no idéntica. Su relación es alta con NINO34, siendo r = 0.65. Las mediciones de GL se ubican entre 60°N y 30°S de latitud. Otros índices globales de temperatura superficial del mar son similares, como GT30 (IRI 2006).

Los otros dos índices del Océano Pacífico (el NP, Pacífico norteño, y el WP, Pacífico occidental, también denominado Poza Térmica) tienen relativamente poca teleconexión con las lluvias del continente; además ambos varían mucho entre si. El índice NP (figura 9) es muy diferente de NINO34, y aunque también se presentan sequías, estas están más fragmentadas, distribuidas en todo el continente, y la extensión mayor se encuentra en el sur de Brasil. El índice WP (figura 13) también tiene poca teleconexión con el continente. En este caso tanto las áreas de mayor sequía como de mayor humedad están situadas de manera dispersa y su extensión es pequeña. Igualmente la superficie relativamente con mayor sequía se localiza en el sur de Brasil. En ambos casos no es posible definir un patrón. Por lo que se refiere al valor que alcanza la correlación entre el NINO34 con el NP y el WP, en los dos casos es negativo, -0.21 y -0.05 respectivamente. Se debe mencionar que los lugares en donde se hacen las mediciones de estos índices se encuentran alejados del continente.

3.2. Índices de los Mares Ártico y Antártico

El índice de Oscilación Ártica (AO), situado desde los 20°N hasta los polos, también se denomina Anillo Ártico. Al compararlo con el Índice de Oscilación Antártica (AAO), localizado desde los 20°S y denominado Anillo Antártico, se observa que el índice de correlación entre ambos es negativo y muy bajo (-0.01). En cuanto a la relación del AO con la precipitación de América del Sur, no tienen teleconexión (figura 4). Podría ser explicable para muchos por su lejanía, sin embargo en el caso de las teleconexiones no necesariamente puede serlo.

Por lo que se refiere a la teleconexión que nos ocupa con el índice AAO, se observa en la figura 3 la presencia de zonas al norte del continente con exceso de humedad en tanto que las de sequía son dispersas y pequeñas.

3.3. Índices del Océano Atlántico.

La relación con la precipitación de los índices que se encuentran en el Océano Atlántico localizados en la zona tropical estudiados aquí, el TNA (Atlántico Tropical Norteño) y el TSA (Atlántico Tropical Sureño), parecen estar más relacionados con escasez de lluvia. En el caso del índice TNA la figura 11 muestra la presencia de sequías en zonas con extensiones relativamente grandes en prácticamente toda América del Sur. Por lo que toca al TSA la figura 12 muestra también zonas de tamaño considerable con sequías, aunque en éste caso sí se encuentra una amplia extensión situada al norte del continente con exceso de humedad. Como ya hemos expuesto no tenemos argumentos que expliquen estos hechos, pero los métodos de correlación que empleamos arrojan tales resultados.

En lo referente a los índices NAF (Atlántico norteño) y NAO (Oscilación del Atlántico norteño) que se localizan a diferentes latitudes en el Océano Atlántico (Tabla1) se observa que en cuanto al primero (figura 6) parece no haber relación con los episodios de sequía y excesos de lluvia, ya que éstos son dispersos y entremezclados. Para el caso del NAO (figura 8) la relación prácticamente no existe, ya que en la mayor parte del continente la cantidad de precipitación que cae es la normal o esperada, así lo denota el color blanco predominante en la mayor parte del continente sudamericano.

3.4. Manchas Solares

Dudamos mucho en incluir la figura 14 relacionada con las manchas solares, debido a que en general, cuando aparece en estudios, se le dan connotaciones aleatorias o coincidentes. Sin embargo, existen muchos estudios serios sobre las relaciones de las manchas solares con fenómenos en la tierra, y su fuente (CDC[b], 2006) lo clasifica entre los índices climáticos. En nuestro caso encontramos que hay muy poca teleconexión entre las manchas solares y las lluvias del continente y los demás índices.

4. Conclusiones

Hemos explorado las aparentes teleconexiones de la lluvia de América del Sur, basados en los datos de lluvia de GHCN y los datos públicos de índices de los estudios usados por meteorólogos y climatólogos fundamentalmente. Se observaron algunas relaciones interesantes de fenómenos globales con relación a El Niño y, lógicamente, menos relaciones con índices que se ubican lejos del continente. Aunque posiblemente se pueden inferir algunas relaciones de importancia de la lluvia, prevalece la gran complejidad de este fenómeno.

Hemos tratado solamente aquellos índices más conocidos y los índices de probable importancia en las teleconexiones con las lluvias de América del Sur. Las dos listas citadas en las fuentes que nosotros usamos, CDC[a] (2006) e IRI (2006), tienen muchos más índices en series temporales, incluyendo varios que no son mensuales. Otros aparecen continuamente en la literatura meteorológica.

Los resultados obtenidos, algunos de ellos expuestos en figuras, en la mayoría de los casos no fue posible discutir o explicarlos suficientemente. Los comentarios y descripciones vertidos nos llevan a otras interrogantes y sobre todo a reconocer que estamos ante fenómenos de una gran complejidad. Nuestro trabajo es simplemente un aporte más en la construcción del conocimiento de esta área.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Bióloga Magda Gómez Columna su apoyo para la elaboración de este trabajo.

Bibliografía

AMS (2000): *American Meteorological Society Glossary*, 2nd edition, Allen Press, Lawrence, KS. (http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse?s=t&p=6)

CDC[a] (2006): Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series. (http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/List/)

CDC[b] (2006): Download Climate Timeseries: Sunspot Index. (http://www.cdc.noaa.gov/Pressure/Timeseries/SUNSPOT/)

Corel (2006): *Quattro Pro 12 de Word Perfect Office 12*, Corel Corporation, Ottawa.

Edwards DC, McKee TB (1997): *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. Clime Report 97-2 (también publicado como Atmospheric Science Paper, no. 634), Dept of Atmospheric Sciences, CSU, Fort Collins, CO, May, 155 pp.

FAO (1998): GIEWS - Foodcrops and Shortages No. 2, May 1998. (http://www.fao.org/docrep/004/w8542e/pays/soam9804.htm)

Golden Software (1999): *Surfer 7 program and User's Guide*. Golden Software Inc., Golden, Colorado, USA.

GHCN (2005): "Global Historical Climatology Network", (http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/v2/), del NCDC (National Climate Data Center), Asheville, North Carolina.

Giddings L y Magda Gómez C. (en prensa): El Niño y la lluvia de Bolivia y América del Sur. *Bolivian Research Review*, Vol. 6 ed 2. (http://www.bolivianstudies.org/esp/revista.php; debido a lo difícil de acceso, los autores pueden suministrar copias)

Giddings L y Soto M (2006): *Historia Ilustrada de la Lluvia en América del Sur*. DVD con animaciones de SPI y de precipitación, en español e inglés, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz. (Los autores pueden informar sobre disponibilidad y costos).

Grimm AM (2000): Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*, 13:35-58.

IRI, 2006. IRI Data Library, KAPLAN Indices (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.KAPLAN/.Indices/).

NOAA, 2005. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D.C., Press release, April 28; NOAA Magazine NOAA Home Page (http://usinfo.state.gov/gi/Archive/2005/Apr/28-719414.html).

UNEP, 2000. GEO-2000, Chapter 2, sidebar: El Niño. (http://www.unep.org/Geo2000/english/0089.htm)