

SALTOS CLIMÁTICOS EN EL CUASI MONZON SUDAMERICANO

JUAN LEONIDAS MINETTI - CONICET, Departamento de Geografía (UNT) y Laboratorio Climatológico Sudamericano (LCS)

ARNOBIO GERMÁN POBLETE - Ins. de Geografía Aplicada (UNSJ) y Laboratorio Climatológico Sudamericano (LCS)

WALTER VARGAS - Universidad de Buenos Aires (UBA) y Laboratorio Climatológico Sudamericano (LCS)

DARÍO PEDRO OVEJERO - dario_dpo_1@hotmail.com
Laboratorio Climatológico Sudamericano

Recibido 09/06/14, Aceptado 21/09/14

Resumen

Se describen algunas variables vinculadas al sistema Cuasi Monzónico Sudamericano (CMS) para identificar a las de mayor peso en el análisis temporal y evaluar a los saltos climáticos (SC). Los SC son cambios bruscos en el clima de una región lo suficientemente importantes como para afectar los niveles de productividad agrícola y otras actividades humanas. Por el poco conocimiento que se tiene sobre la generación de los mismos, hacen que éstos sean al presente imposible de ser pronosticados con modelos, pero sí se los puede identificar en el momento que están ocurriendo para poder alertar a las sociedades afectadas. El CMS tiene su epicentro de impacto en las lluvias estivales del corazón del continente, y en el pasado se han detectado por lo menos dos eventos en el período 1884-2011, pasando de un período fresco-húmedo-lluvioso a otro cálido-seco en la década de 1910 y posteriormente a otro fresco-húmedo-lluvioso en la década de 1950. Estos dos últimos han ocasionado cambios muy contrastantes del clima con sus impactos, y existen evidencias recientes de que pudiera estar ocurriendo otro salto sobre comienzos de esta década del 2010 hacia condiciones más secas-calurosas.

Palabras clave: Salto Climático, Sudamérica, Monzón

1. Introducción

De la definición de Cambio Climático (CC) realizada por el grupo de trabajo de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1966), el CC por razones de escala debe registrarse en toda la Tierra y puede manifestarse en las series temporales seculares como una vacilación, tendencia o salto abrupto. El CC se puede ver en las series de temperaturas globales proporcionados anualmente por NASA (2012) donde se destacan dos períodos de calentamientos, uno en la primera mitad del Siglo XX, y la otra entre 1980-2011, separadas por un período de enfriamiento o estacionamiento de la tendencia que comenzó alrededor de 1950. Minetti (1993), y Vargas y Minetti (1997) mostraron con series de variables climáticas del Noroeste Argentino (NOA), que en la década de 1950 había ocurrido un salto en los promedios interdecadales de las precipitaciones y temperaturas. Análisis de gran escala de (Minetti y Vargas, 1983 a, b) mostraron el alcance geográfico de los cambios al comparar las variaciones de temperaturas medias en el HS para los períodos 1941-50/1951-60. En las conclusiones se detalló la existencia de un fenómeno global, observado también en el NOA. Kalnicky (1974) y Yamamoto *et al.* (1987) recordaban que la circulación atmosférica sobre América del Norte y en N del O. Pacífico Norte había sido afectada por cambios bruscos en sus componentes de circulación. En el NOA se registraban aumentos de precipitaciones y enfriamiento de la temperatura máxima más afectada por efecto radiativo (aumento de nubosidad) y evaporativo (crecimiento de la lluvia). En las Islas Orcadas del Sur se registraba un importante calentamiento regional con aumentos en las frecuencias de vientos del cuadrante N. Esto último sería consecuencia de la profundización de la vaguada patagónica transcordillerana ante un aumento de la intensidad del flujo del O en latitudes altas-medias (Minetti *et al.*, 1990). Estos autores mostraron los cambios interdecadales de la precipitación, (1951-60)-(1941-50) con un dipolo más lluvioso sobre el NOA, Paraguay, oriente boliviano, SE de Brasil y oriente de la Cordillera de Los Andes en Brasil, E de Perú-Colombia, en contraste con mayor sequedad sobre el extremo NE de Brasil y Guyanas. Años después, las precipitaciones volvieron a crecer por otro motivo aparentemente diferente a un salto climático afectando a casi toda la Ar-

gentina y enmascarando al proceso de SC de la década de 1950. Este proceso largo de excesos hídricos culminó alrededor del año 2003 cuando toda la región semiárida central de Argentina se encontraba colmatada de agua y registraba la peor inundación conocida sobre la ciudad de Santa Fe (Minetti *et al.*, 2005 a). Posteriormente al año 2003 sobrevino un período más seco delatado por los índices de sequías operativos (Minetti *et al.*, 2008 y 2010). Este último cambio no parecía ser una condición brusca del clima, aunque sí, se observaron frecuentes sequías que generaron fuertes impactos en la agricultura de granos de Argentina. Particularmente la campaña 2008-09 tuvo una pérdida del orden de un tercio de lo producido en la campaña agrícola anterior, equivalente a 7.000 millones de dólares. Minetti *et al.* (2008), muestra además que los índices de sequías anuales de los períodos JI del año “t” a Junio del año “t+1” en la totalidad de Argentina podían ser estimados con la información térmica de los meses de Julio-Agosto del año “t”, al inicio de la campaña, y que a su vez esta temperatura estaba asociada a la oscilación PDO (Pacifical Decadal Oscillation) (Mantua y Hare, 2002). También los autores mostraron que la PDO y la oscilación lenta del SOI se extiende en tiempos remotos (1525 o antes). La longitud aproximada de la PDO es del orden de 50 años, lo que garantiza la existencia de fases frías y cálidas sobre el O. Pacífico del orden de 25 años que da a este un alto valor predictivo en el clima. El SC por el contrario es un cambio brusco (enfriamiento) atribuido probablemente a la inyección de partículas volcánicas en la década de 1950 (Revelle, 1991), mientras que en las décadas de 1910 este efecto era inverso (calentamiento), debido a la precipitación de las partículas de sulfatos emitidas por la gran erupción del volcán Krakatoa en 1883 (Rampino y Self, 1984). Otros autores (Yamamoto *et al.*, 1985) aseguran sin embargo que estos cambios bruscos en las variables atmosféricas podrían deberse a la no linealidad de las partes del sistema climático. Una vez que se origina una perturbación, esta crecería ocasionalmente para no retornar al origen de la misma (Henderson-Sellers y McGuffie, 1990). Este sistema admitiría cambios en forma de saltos, e inclusive justificaría la existencia de dos marcados períodos de glaciación y desglaciación como los observados en el pasado climático terrestre. Para este tratamiento se necesitan

mejorar algunas descripciones sobre la naturaleza del carácter monzónico de las precipitaciones en el continente (Zhou and Lau, 1998) ya que esta circulación se sobre impone sobre la general, también afectada por SC (Vargas *et al.* 2002). Sea cual fuere el motivo causal de los SC (vulcanismo o no linealidad del sistema) ambos parecen no ser pronosticables con el estado actual de la ciencia. Esto se debe a que en la detección de SC los métodos exigen una parametrización temporal de las variables antes y después del mismo (Leith, 1978; Yamamoto *et al.*, 1985), y no permite la identificación oportuna del momento temporal cuando esta ocurriendo el fenómeno.

Entre los objetivos propuestos en este trabajo están:

- a) Mejorar algunos conocimientos relacionados con el régimen cuasi monzonico de precipitaciones de Sudamérica.
- b) Describir los procesos climáticos temporalmente largos (bajas frecuencias) ocurridos en el Centro-Sur de Sudamérica.
- c) Mostrar a los SC y PDO como fenómenos independientes.
- d) Proponer una forma de detección temprana del SC.

Esto es importante a los efectos de alertar a la sociedad sobre la naturaleza de lo que sobrevendría para la mejor toma de decisiones. No se descarta la importancia de estos eventos en los colapsos ocurridos en las civilizaciones pasadas (Motesharrei *et al.*, 2011) aunque ahora se interponen grandes desarrollos tecnológicos para mitigar y adaptar los impactos del CC (IPCC, 2001). Esto último también es válido para un proceso de reversa, llamado des-civilización (Diamond, 1994), cuando los esfuerzos de una sociedad divergen hacia la destrucción, y la tecnología es convergente con una mayor capacidad de destrucción (Acot, 2005).

2. Datos y métodos

En este artículo se han recopilado resultados de otros escritos sobre el tema realizados por el grupo de trabajo en las últimas décadas, tratando de conectar sus ideas y tener una mejor aproximación regional sobre los alcances del SC en

Sudamérica.

Se han utilizado datos medios mensuales de precipitación y temperaturas en Sudamérica FAO (1985) con el objeto de correlacionar ambas variables ("r" de Pearson- Spiegel, 1969) y encontrar las áreas con mayor asociación directa (positiva) representante del comportamiento monzonal. También se calcularon los niveles de concentración de las precipitaciones estivales (Enero-Febrero-Marzo) respecto del total anual para identificar mejor la subregión monzonal en Sudamérica. También se utilizaron los gradientes béricos entre Río de Janeiro-Tucumán, Buenos Aires-Tucumán y Buenos Aires-Córdoba.

Para la caracterización de la génesis de precipitaciones del NO de Argentina y oriente de Bolivia, recurrimos a la tipificación diaria de situaciones sinópticas, mostradas por Minetti y Vargas (2005) y Minetti *et al.* (2012).

Se han utilizado dieciocho variables que son usadas operativamente en este LCS (Minetti *et al.*, 2010 a, b) descriptas mas abajo. Estas variables se han correlacionado en escala anual con la precipitación a los efectos de analizar la extensión geográfica del impacto que tienen cada una de ellas en las lluvias. Para consistir los descripto y extender el análisis en Sudamérica utilizamos los datos de precipitación del Reanálisis I (Kistler, *et al.* 2001).

Se ha utilizado el nivel del Lago Titicaca ubicado estratégicamente en el NO de Bolivia y S de Perú (SENAMHI-Bolivia). Este arrojaría una idea del balance de agua de una importante cuenca a 3800m snm y la disponibilidad de vapor de agua en altura en los diferentes procesos del monzón.

Para la estimación de las tendencias se han utilizado polinomio de grado superior obtenidos por el método mínimos cuadrados.

Para la detección del SC se utilizaron las relaciones de señal/ruido propuestas por Leith (1978) y Yamamoto *et al.* (1985)

También se ha probado el método de primera diferencia en las variables entre un año y otro para identificar a los momentos de máxima oscilación como posible indicador temprano de un SC.

3. Resultados y discusión

3a. Área geográfica afectada por el cuasi monzón sudamericano.

La **figura 1 a** muestra la superficie afectada por este fenómeno proporcionado por la correlación existente entre los valores de temperaturas y precipitaciones medias mensuales en el período 1931-60 sobre Sudamérica (Minetti *et al.*, 2005). En esta se pueden apreciar a cinco regímenes de asociación entre ondas anuales de temperaturas y precipitación. Las principales conectadas con el monzón, serían las señaladas como IIIa y IIIb. Las diferencias establecidas entre ellas a través de un istmo sobre Bolivia indicarían un comportamiento diferencial. La región más al S sobre Argentina asociadas a una depresión continental en superficie (o Chaco Low), no presenta un anticiclón en altura para asemejarse a una depresión térmica (Satyamurty y otros, 1998). Más al N, sobre Bolivia y E de Perú, aparece un anticiclón en altura Taljaard *et al.* (1969), denominado “la Alta Boliviana”. Otra zona de característica cuasi monzonal, se encuentra sobre el centro-E de Brasil donde se desarrolla normalmente la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (SACZ) (Minetti y Vargas, 1983).

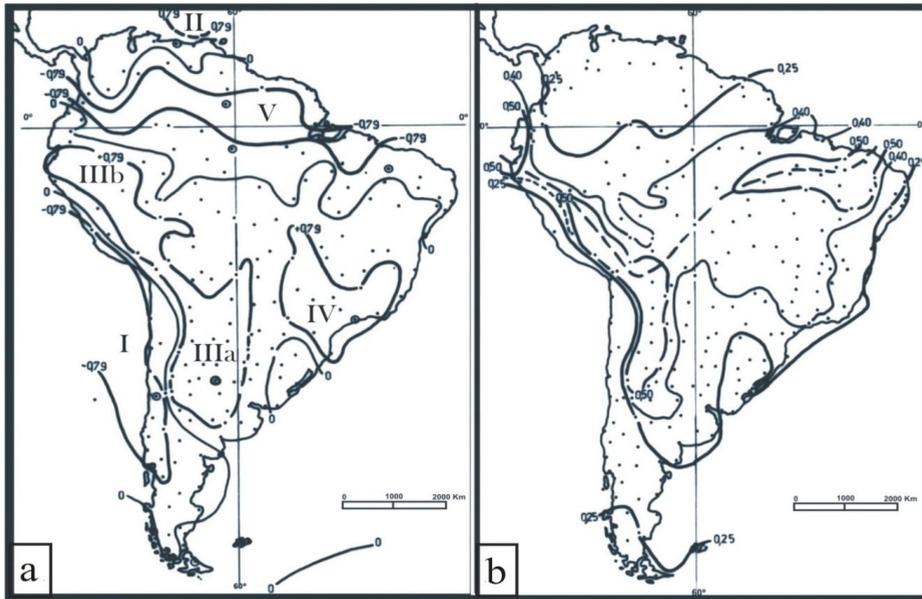


Figura 1 a: Correlación entre las temperaturas y precipitaciones medias mensuales. **Figura 1 b:** Porcentaje de precipitación que cae en el trimestre cálido EFM respecto del total anual. Todas ellas en el período 1931-60 con datos de la FAO (1985).

Con este proceso cuasi monzonal para diferenciarlo del verdadero monzón asiático donde la Convergencia Intertropical (CIT) llega a la depresión continental en verano, una alta concentración de la precipitación estival se produce durante la estación cálida del verano (EFM) sobrepasando al 40-50% del total precipitado en un año, y llega a superar el 90% en la Puna Argentina-Boliviana (Poblete *et al.*, 1989). Esta actividad pluvial se desarrolla en presencia de abundante vapor de agua que llega advechado desde el mar hacia el continente como producto del ciclo hidrológico océano-continente, mostrado en la **figura 2-der.** (Minetti *et al.*, 2005, 2012).

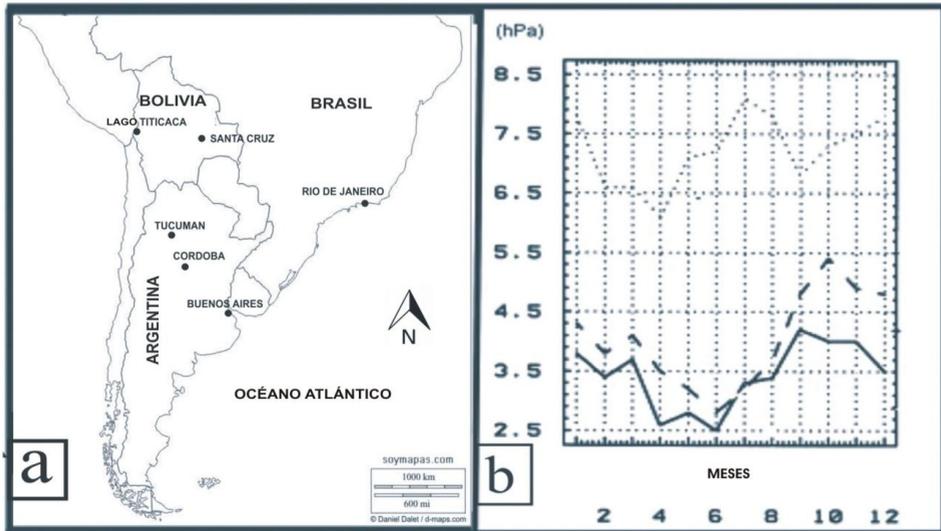


Figura 2a: Localidades utilizadas en la generación de índices climáticos para el S de Sudamérica. **Figura 2b:** Diferencias de presión atmosférica al nivel del mar entre el litoral oceánico sudamericano y el continente. Línea sólida (Bs. As.-Córdoba), línea quebrada (Bs. As.-Tucumán) y línea de puntos (R. Janeiro-Tucumán). Se ubica también al lago Titicaca (LT) en Bolivia-Perú.

Una vez situado en la región de estudio y la génesis de los procesos generadores de precipitación estacional, se avanza sobre el origen de la variabilidad intraestacional de la precipitación. Para ello se ha correlacionado a la precipitación anual del período 1931-1990 con diecinueve indicadores del clima regional usados en el LCS para el estudio de las sequías (Minetti *et al.*, 2010 b). Este análisis mostrado en la **figura 3a** discrimina a las regiones por su correlación máxima con algunas de las variables citadas en la misma. Esto fue realizado con datos reales observados y las variables diagnosticadoras reportadas en la misma figura (Minetti *et al.*, 2010 b).

En la **figura 3a** se advierte que en la mayor región continental de Argentina la precipitación anual está asociada con la temperatura máxima media anual de SMT (TX), mostrando a esta variable como un importante diagnosticador de las

precipitaciones.

Los períodos secos asociados con escasa nubosidad y elevada TX, y los procesos lluviosos con elevada nubosidad y bajas TX, todo esto, típico de un proceso monzonal. El área discriminada muestra que existen otros procesos de gran escala asociados con las precipitaciones en el flanco oriental-occidental de Sudamérica que no se trataran aquí. Es probable que en esta región la TX SMT también tenga correlaciones significativas pero otras variable diagnosticadoras la superan.

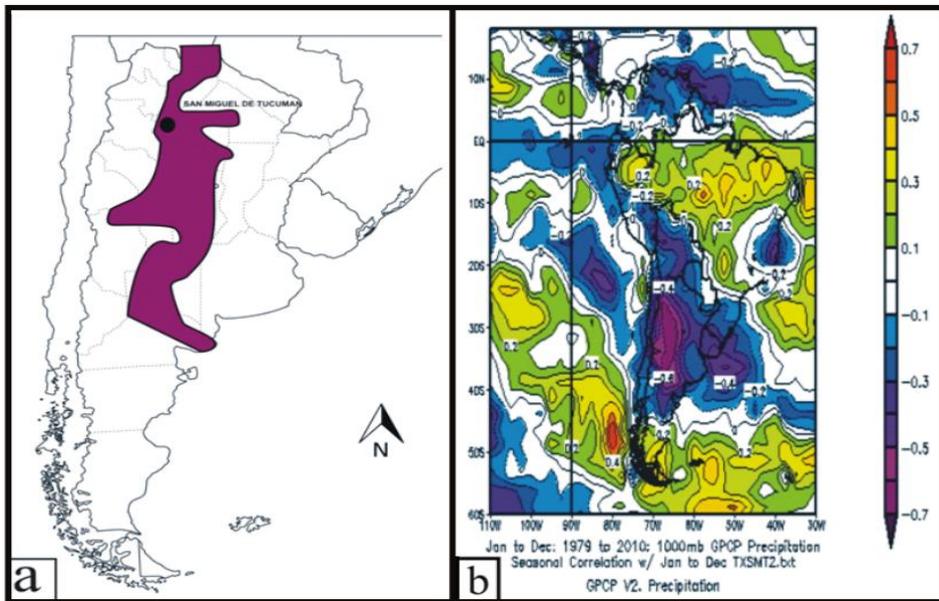


Figura 3a: Áreas discriminadas con la mayor correlación entre variables diagnosticadoras del clima con la precipitación anual. **Figura 3b:** Correlación entre la temperatura máxima de S.M. de Tucumán (SMT) y precipitaciones anuales de la región con datos del Reanálisis I en un grillado. $R_c = 0.3$ (violeta).

La **figura 3b** indica las correlaciones entre la TX de SMT en forma interanual con la precipitación anual estimada con información del Reanálisis I. La coincidencia de los procesos que describe con los datos reales es muy buena y se

puede extender la correlación sobre Bolivia y el SE de Perú acompañando a la descripción climática de un proceso monzonal ya mostrado en las **figuras 1 a, b**.

3b. Baja frecuencia en los procesos climáticos. El salto climático (SC).

En esta etapa del análisis se investiga cómo la temperatura máxima media del trimestre más caluroso o monzonal en Tucumán TXSMTEFM) ha cambiado a lo largo de los años en el período 1890-2013. Para observar el SC dentro de la variabilidad interanual del proceso de monzones se identifica a los promedios del trimestre EFM año a año en períodos seleccionados con la metodología de SC (Minetti *et al.*, 1997, Yamamoto *et al.* 1985). Esto está representado a través de promedios cambiantes con los años en la **Figura 4 a** y/o con polinomios de orden superior para argumentar una tendencia. De esta figura se observa que:

a) Ubicación temporal: En 110 años de datos se identifican dos largos períodos fresco-húmedos (o lluviosos) en los lapsos 1890-1910 y 1958-2011 que acompañan a otro cálido-seco (más secos) entre 1910-1957 (Minetti, 1980). En la condición cálida se destacan los extremos individuales de mediados del siglo XX y los recientes 1988 y 2012 donde se han registrado importantes sequías. En el período más fresco ocurrido entre la década de 1958-2003 se han producido las principales precipitaciones sobre la zona continental argentina incluyendo el catastrófico evento de Santa Fe del 2003 (Minetti *et al.*, 2005).

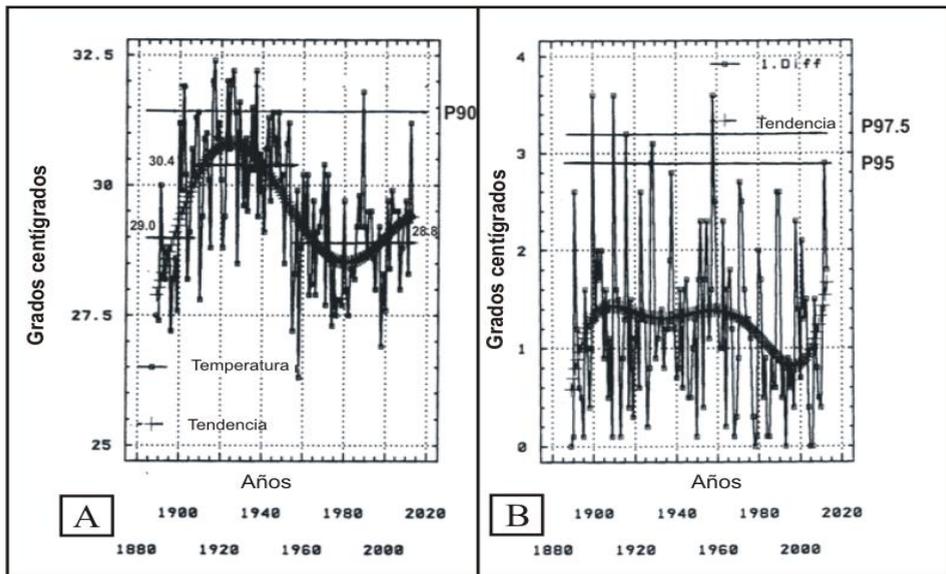


Figura 4a: Variación interanual en TXSMT correspondiente al período de calentamiento estacional JFM. Un polinomio grado 5, percentil P90 y tres promedios se destacan.

Figura 4b: Se muestra la primera diferencia que se establece entre dos años consecutivos y niveles de probabilidad de 95% y 97,5%. También se muestra un polinomio de grado 5.

El SC ocurrido en la actividad monzonal en la década de 1950 descrito por Minetti (1980), Minetti y Vargas (1997), también ha sido observado en diversas regiones del planeta, desde las Is. Orcadas del Sur (Minetti y Vargas, 1983), hasta el N de Canadá (Kalnicky, 1974) y N del O. Pacífico N (Yamamoto *et al.*, 1987) y otros.

b) Impactos: Este SC en el promedio de las variables ha generado cambios en los cultivos en la provincia de Tucumán-Argentina. Estimaciones con modelos empíricos en los rendimientos culturales de caña de azúcar son de unos +16.3 Tn/Ha, y en soja de unos + 240 Kg/Ha (Minetti *et al.*, 1982, Minetti y Lamelas, 1995), además de haber permitido en esta última, la expansión de la agricultura hacia la región semiárida Argentina y de aumentar la posibilidad de años con la realización del cultivo. El salto en los promedios climáticos también se ha regis-

trado en los valores extremos de precipitación caídos en 24 hs. que favorecieron a los procesos erosivos sobre las laderas de montañas en las provincias del NOA (Minetti y Leiva, 2005; Medina y Minetti, 2006; Minetti y González, 2006).

c) Circulación: Los SC en la circulación regional zonal y meridional (océano-continente) ya fueron descriptos por Vargas *et al.* (1995, 2002) indicando una perturbación de los flujos regionales de aire en la década de 1950.

d) Metodología: Cualquiera sea la metodología para estimar los SC en una relación entre cambios de una señal (promedios) sobre el ruido (Variabilidad interanual) (Leith, 1978; Yamamoto *et al.* 1985) o la propia prueba de diferencias de promedio (t' Student) (Spiegel, 1969), requieren de dos subseries para comparar, antes y después del SC, exigiendo en ambos casos que su longitud sea lo suficientemente larga como establecer un error del promedio de Fisher (1932) igual o menor que el 5%. En variables como la temperatura media anual esta condición es fácil de obtener con subseries de 15-20 años, mientras que en la precipitación anual este requerimiento puede oscilar entre 25-60 años entre regiones lluviosas a secas. Para evitar el análisis puntual de series en la precipitación, más adelante se toman a cuatro subregiones dentro de Argentina donde los impactos fueron diferenciados (Minetti y González, 2006). Por falta de información al comienzo de las series es más difícil la observación de un SC en la década de 1910 donde sólo se la puede evaluar con la temperatura máxima (EFM) en SMT.

e) Posible origen: Este proceso de calentamiento en el inicio del siglo pasado ocurrió posterior al enfriamiento observado en la atmósfera sobre fines del Siglo XIX, luego de que el volcán Krakatoa entrara en erupción en 1883 (Rampino y Self, 1984). Con la precipitación de partículas posterior a la erupción permitió restablecer el balance radiativo de onda corta con un paulatino ascenso de temperatura. En realidad sólo se disponen de dos eventos bruscos de cambio térmico en 120 años de datos de SMT. Mientras que en el primer episodio de comienzo de Siglo XX el paso fue más lento, el de final de la década de 1950 fue más brusco.

f) Metodología para la detección temprana del SC: En la **figura 4a** también se observa que en los períodos en que el SC está por ocurrir, la oscilación año a año

de la temperatura se torna muy irregular con valores extraordinarios. Esto se lo puede ver en la **figura 4b** donde se presenta a los valores de la primera diferencia y su tendencia en la TXSMTEFM. En ella se advierte además que aparte de los dos períodos mencionados (1910 y 1958), también hay un aumento de inestabilidad reciente que culmina con un valor extraordinario entre los años 2011-12. Aquí los valores extraordinarios de la primera diferencia se los detecta con el percentil 95 o 97.5. Esto significa que un evento de estos ocurrirían con una probabilidad de 0.058 o 0.033, o sea con una recurrencia de una vez en 17 o 30.3 años. Sin embargo su tendencia es la que advierte solo la existencia de tres únicos eventos de SC, a comienzos de Siglo, sobre la década de 1950 y el que está apareciendo en la actualidad.

g) Consistencia con otras variables: El SC además se valida en otras variables (Minetti, 1991, Vargas *et al.*, 1997) para una estación meteorológica u otras de la región. Un ejemplo de esto dentro del área monzonal descriptas anteriormente, se realiza con variables hidrométricas como la altura del Lago Titicaca (LT) en Bolivia-Perú mostradas en la **figura 5**. Una gran inestabilidad en el momento de ocurrencia de un SC podría ser el observado alrededor del 2011-12, con la generación de grandes sequías en el sur de la cuenca del río Amazonas (Minetti *et al.*, 2010 c) y graves inundaciones, con ríos que alcanzaron niveles extremos en el 2012. Una asociación entre las fluctuaciones de gran escala en se ven en el comportamiento opuesto de las TXSMTEFM con los niveles del LT (Minetti *et al.*, 2012b) de la **figura 5**. El contraste opuesto entre la TXSMTEFM con los niveles del LT con una correlación significativa al 2% están indicando que ambas regiones, el NOA y el S de Perú-NO de Bolivia están teleconectadas y responden al monzón sudamericano.

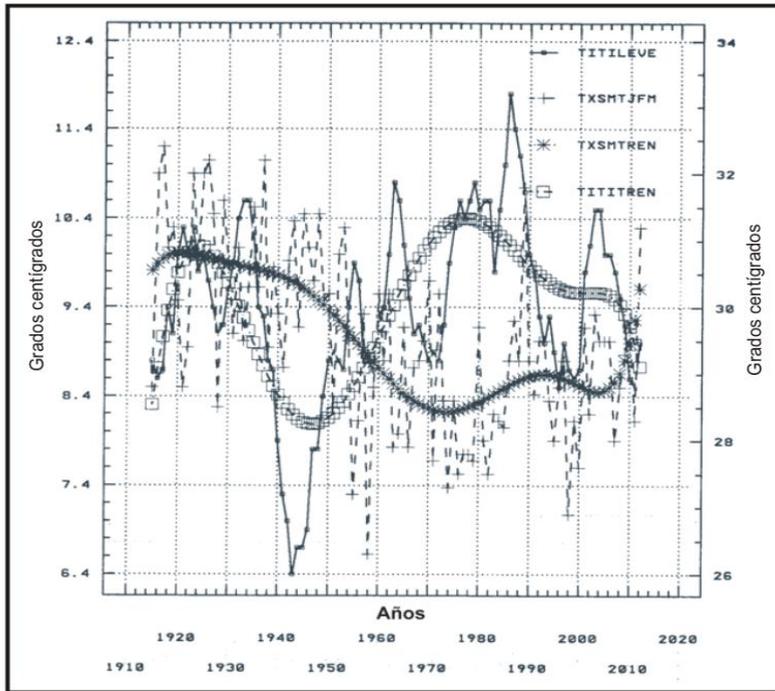


Figura 5: Asociación entre la TX SMT del período EFM y la altura anual de LT en Bolivia-Perú a 3800m sobre el nivel del mar ($r = -0.24$ sig.est 2%). Los polinomios se añaden como tendencias séptimo grado. Ver las intersecciones de las dos variables y las SC de principios del siglo XX, alrededor de 1950, y el actual proceso en curso.

3c. Señales de salto climático y PDO.

La señal climática más larga observada con cierta regularidad útil para la previsión climática en Argentina ha sido mostrada por Minetti *et al.* (2008) usando a la Pacific Decadal Oscillation (PDO) (Mantua y Hare, 2002) como predictor. La longitud de la PDO estimada por Anderson (1992) en unos 50 años aproximadamente perturba el análisis temporal de las series climáticas cuando sus oportunidades de ascenso o descenso de las fases se acercan temporalmente. Esto ocurre entre la PDO y el SC. La **figura 6** muestra un análisis de SC realizado con

la metodología de Leith (1978). Puede observarse que el SC ha sido detectado en la década de 1950 en las precipitaciones regionales del NOA de carácter monzonal. En esta región y las otras cuatro elegidas en Argentina también observaron un importante crecimiento de las precipitaciones en la década de 1970. En medios académicos esto produce confusión.

Cuando esta señal de cambio del promedio es igual o superior a la unidad se observa significación estadística equivalente al valor del ruido o desvío típico. El SC de la década de 1950 coloca a las precipitaciones del NOA en carácter de inhomogéneas frente al resto? Los otros cambios sobre las décadas de 1970 serían más homogéneas desde el punto de vista relativo al involucrar a todas las regiones.

Está claro en la **figura 7** que el SC registrado en el E del NOA al final de la década de 1950 juntamente con la TX del verano (EFM) mostrada en la **figura 4a** sólo se ha registrado en una subregión de característica monzonal y no en las restantes. Alrededor de 1980 se registra nuevamente este suceso pero en este caso involucra a casi todas las subregiones. Análisis posteriores en la **figura 7 a, b**, con análisis de tendencias y espectros de la varianza coinciden en la existencia de una onda de unos 50 años de longitud aproximada en fase con la PDO y onda de baja frecuencia del SOI. En este caso las fases positivas de la PDO se han correspondido con un O. Pacífico más cálido y eventos “El Niño” más frecuentes.

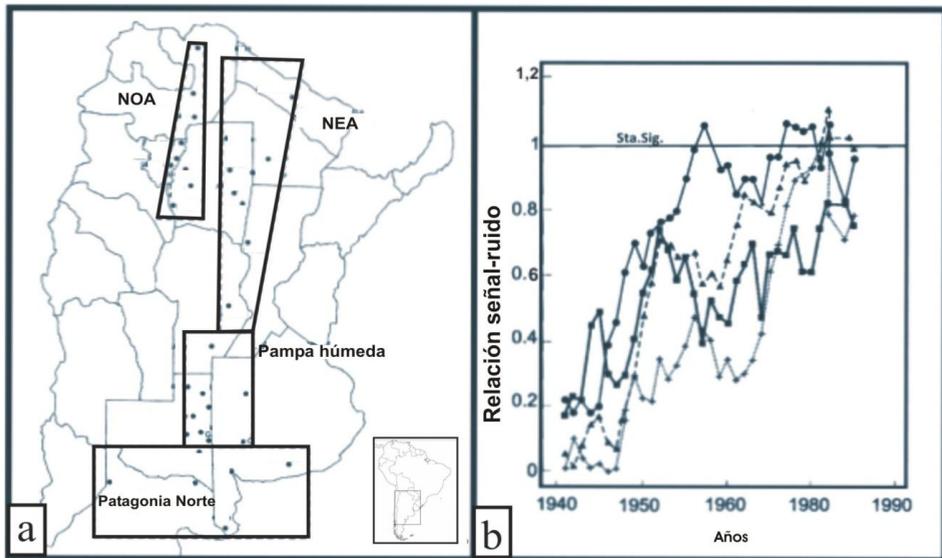


Figura 6a: Relación señal/ruido (Leith, 1978) para las precipitaciones anuales promedio en zonas de Argentina indicadas en la **figura 6b**. Estas son: E del Noroeste Argentino (línea llena con círculos), O del Noreste Argentino (línea de puntos con +, Pampa Seca (línea quebrada con triángulos, y Norte de Patagonia (línea llena con cuadrados).

A este último período lluvioso de Argentina que culminó con la inundación de la ciudad de Santa Fe en el año 2003 le siguió una fase negativa de la PDO con un gradual secado de la llanura (Minetti *et al.* 2010) y con sequías marcadas en los años 2008, 2012 2013. Se sabe que la génesis incierta de los SC impide su pronóstico mediante el uso de modelos, pero su detección oportuna como la actual es tan importante como una previsión climática.

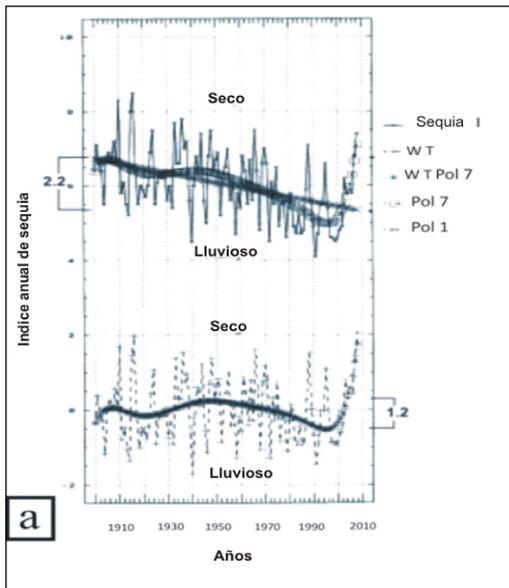


Figure 7 a: Índice de sequía anual en Argentina (ISARG13A) y polinomio contendencia lineal 7 th.gr. (arriba), sin tendencia lineal (abajo).

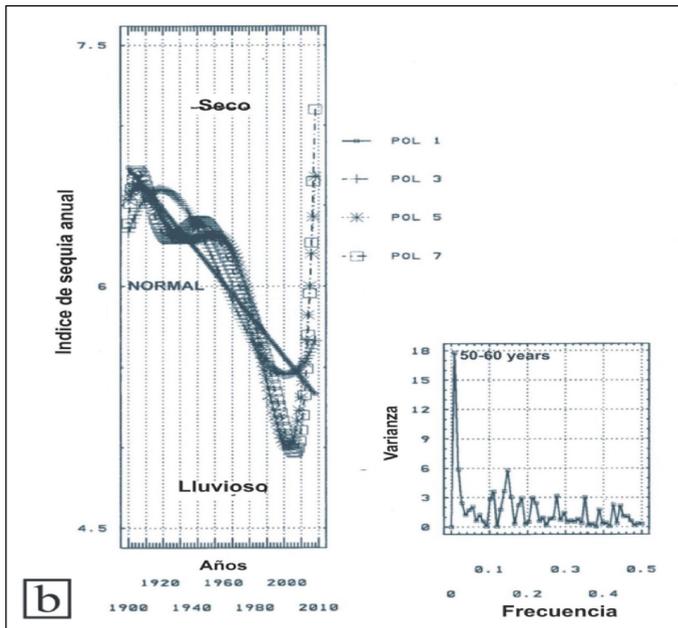


Figure 7b: Polinomios 1^o, 3^{er}, 5^o y 7^o grado del índice anual de sequía en Argentina (ISARG13A). A la derecha está la varianza espectral del índice de sequía con una importante contribución a las longitudes de 50 a 60 años.

Para completar este cuadro de situación, la ocurrencia de cuantiosos eventos extremos, tales como una prolongada sequía de más de tres años en China, India, Australia, Federación Rusa, USA y México (www.spanish.china.org.cn; www.efeverde.com; www.infocampo.com.ar; www.elobservador.com.uy) que informa sobre la falla del monzón asiático, las grandes pérdidas por sequías en los países de la Federación Rusa, Argentina y Bolivia en el 2010 (www.actualidad.rt.com; www.cronista.com; www.lapatriaenlínea.com), estarían indicando un desplazamiento del De las tres crisis de precios internacionales de granos recientes observadas (comodities agrícolas internacionales), la primera fue originada por razones financieras en USA en el año 2008, pasando desapercibido en el escenario global la gran sequía de la llanura argentina, en tanto que las dos recientes de los años 2010 en Rusia y 2012 en USA tuvieron alzas de precios de granos con un mercado más volátil, advirtiendo sobre la naturaleza de la crisis climática que se transita.

Conclusiones

En este trabajo se muestra que la temperatura máxima media anual de Tucumán (TXSMT13) y las del trimestre EFM (TXSMTEFM), representan a procesos monzonales en el Noroeste de Argentina afectando a la nubosidad y precipitación.

La temperatura máxima media observada en Tucumán (trimestre JFM) para el período 1890-2012 registró dos SC en el pasado: una en la primera década del siglo XX y el otro en la década de 1950.

Usando al estadístico de la “primera diferencia” podría verse tempranamente la ocurrencia de un SC alrededor de 2011-12 realizado en este caso por la ocurrencia de una fase fría de la PDO que comenzó a comienzos de la década pasada.

Se ha propuesto un método para la detección precoz del SC en base a la “primera diferencia” de la variabilidad interanual de la temperatura máxima en verano. Esto permite que en el tiempo presente la observación de SC, sin esperar un tiempo después del evento para su prueba estadística.

Agradecimientos

Al Laboratorio Climatológico Sudamericano por la información, equipamiento para el procesado de datos, y experiencia adquirida en la Vigilancia Climatológica Operativa. También se agradece a la Universidad Nacional de San Juan y la ANCYT, PICTO-UNSJ-2009-0150-BID (Variabilidad Espacial y Temporal del Clima de San Juan –Argentina– y su posible relación con el Cambio Climático Global. Cód. F916. Res. N° 37/11-Cs. CICITCA-UNSJ) por los aportes económicos en el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acot, P. (2005): *Historia del clima. Desde el Big Bang a las catástrofes climáticas*. Ed. Ateneo, 269 pgs.
- Anderson, R. Y. (1992): "Long-term changes in the frequency of occurrence of El Niño events". 193-200. En *El Niño: Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*. Ed. por H.Díaz and V. Markgraft, 476 p.
- Diamond, J., (1994): "Ecological collapses of Past Civilizations". *Proc. Of Ame. Philpsophical Soc.* Vol. 138, Nº 3, 363-370.
- FAO (1985): *Agroclimatological Data*, Roma.
- Fisher, R. A. (1932): *Statistical Methods for Research Workers*. Edimburg: Oliver & Bayd.
- Henderson-Sellers y K. McGuffie (1990): *Introducción a los modelos climáticos*. Barcelona: Ed. Omega, 231 pgs.
- <http://www.actualidad.rt.com>, La sequía en Rusia acaba con el 26% de los cultivos de cereales. 23-08-10.
- <http://www.cronista.com>, Estiman que por la sequía se perderán U\$S 6.000 millones en exportaciones. 23-01-12.
- <http://www.efeverde.com>, Fuerte sequía en India. 17-05-12.
- <http://www.elobservador.com.uy>, La sequía en Rusia no será tan grave como la que hubo en el año 2010, 16-07-12
- <http://www.infocampo.com.ar>, Declaran la emergencia por sequía en USA, 15-07-12.
- <http://www.lapatriaenlínea.com>, Sequía en Bolivia afecta 41.800 familias y causa pérdidas de 25 millones de dólares.
- <http://www.spanish.china.org.cn>, Tres años de sequías en China. 21-02-12.
- IPCC, WMO-UNEP, (2001): "Climate Change 2001". *Synthesis Report*. 397 pgs. Cambridge.
- Kalnicky, R.A., 1974: "Climate Change since 1950". *Annals of the ss. Amer. Geog.*, Vol. 64, Nº 1, 100-112. USA.
- Kistler, R., E. Kalnay, W. Collins, S. Saha, G. White, J. Woollen, M. Chellian, W. Edisuzaki, M. Kanamitso, V. Kousky, H. Van Den Dool, R. Jenne, and M. Fiorino (2001): "The ENCEP-NCAR 50 year's reanalysis". *Bull Am Meteorolo Soc* 82: 247-267.
- Leith, C. E. (1978): "Predictability of Climate". *Nature* 276, N 5686, 352-355.
- Mantua, N. J. and S. R. Hare (2002): "The Pacific Decadal Oscillation". *Jou. of Ocenography*, vol. 58, Nº 1, 35-44.
- Medina, E. R. y J. L. Minetti, (2006): "El salto climático y su impacto en la frecuencia de precipitaciones máximas diarias en S.M. de Tucumán". En *Desafíos Ambientales del Gran San Miguel de Tucumán*, Cap. 20, 331-344. Ed. Magna.
- Minetti, J. L., R. A. Neder, C. A. Gargiulo y J.C. Sal Paz (1982): "Impacto del clima sobre la caña de azúcar en Tucumán". *Pub. Misc.* Nº 72. 45-93. S. M. de Tucumán: EEAOC.
- Minetti, J. L. y W. M. Vargas (1983): "Comportamiento del borde anticiclónico Subtropical en Sudamérica. I Parte". *Meteorológica*, vol. 14, Nº 1-2, 645-656.
- Minetti, J. L. y C. M. Lamelas (1995): "Respuesta regional de la soja en Tucumán a la variabilidad climática". *RIAT* 72, (1-2), 63-68. S. M.

de Tucumán: EEAOOC.

- Minetti, J. L. y W. M. Vargas (1983): "El Enfriamiento de la Década de 1950 en la R.A." *Meteorológica*. Vol. 14, pp. 175-188. Buenos Aires: Centro Argentino de Meteorólogos.
- Minetti, J. L. y W. M. Vargas (1983): "Fluctuaciones de la Temperatura media en Sudamérica y Hemisferio Sur en el período 1941-1960". *Meteorológica*. Vol. 14, pp. 225-235. Buenos Aires: Centro Argentino de Meteorólogos.
- Minetti, J. L., W. M. Vargas y A. G. Poblete (1990): "La perturbación en la circulación zonal que originaría el subcontinente Sudamericano". *Rev. Geo.* N° 33, JI-Di. Inst.Pan.Geo. e Hist.-OEA. 161-178. México.
- Minetti, J. L. (1991): Estudio de las singularidades climáticas en series de temperaturas del Noroeste Argentino. Tesis de doctorado, UBA. 117 pgs.
- Minetti, J. L., and W. M. Vargas (1997): "Trends and Jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S". *Atmósfera* 11, 200-221.
- Minetti, J. L., J. N. Paegle, W. M. Vargas y A. G. Poblete (2005): "Inundación de Santa Fe en abril del 2003. Procesos climáticos e hidrológicos coadyuvantes". *Anales del IX Congreso Argentino de Meteorología*. CAM. Buenos Aires, 3-7 de octubre.
- Minetti, J. L., W. M. Vargas, C. M. Hernández y E. R. López, (2005): "La circulación regional estacional en Sudamérica-Su incidencia en el clima del Noroeste Argentino". *El Clima del Noroeste Argentino*. Cap. 3. Ed. Magna, 449 pgs.
- Minetti, J. L., y W. M. Vargas (2005): "La circulación regional en el Noroeste Argentino y condiciones del tiempo asociadas". *El Clima del Noroeste Argentino*. Cap. 4. Ed. Magna, 449 pgs.
- Minetti, J. L. y M. del V. Leiva (2005). "Variabilidad y cambio climático en el Noroeste Argentino". *El Clima del NOA*. Cap. 12. Ed. Magna, 449 pgs.
- Minetti, J. L., y J. A. González (2006): "El cambio climático en Tucumán. Sus impactos". *Serie Conservación de la Naturaleza* N° 17, 24 pgs. S. M. de Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Minetti, J. L., G. Naumann, W. M. Vargas y A. G. Poblete (2008): "Las sequías en el largo plazo y sus precursores invernales". *Rev. de Geo.* Año X, N° 12, 26-37. IGA-UNSJ. San Juan.
- Minetti, J. L., W. M. Vargas, A. G. Poblete, L. R. de la Zerda and L. R. Acuña (2010 a): "Regional drought in southern South America". *Theor. Appl. Climatol.* v. 102, 403-415. Springer-Verlag.
- Minetti, J. L., Poblete, A. G., Bobba, M. E. (2010 b): "Regional droughts in the southern of South America-Physical aspects". *Revista Brasileira de Meteorología*, v.25 n1, pgs. 88-102.
- Minetti, J. L., J. A. González y D. P. Ovejero (2010 c): "Desastre ecológico global 2010". *Rev. De Geo.* N° 14, 40-47. IGA, UNSJ. San Juan.
- Minetti, J. L., L. R. de la Zerda, A. G. Poblete, W. M. Vargas y P. Ovejero (2012): "Fluctuaciones de baja frecuencia y Cambio Climático en Bolivia". En *El Clima de Bolivia*. Cap. 13. Ed. J. L. Minetti. 300 pgs.
- Motesharrei, S., E. Kalnay, J. Rivas and R. Poor (2011): *Rich and Poor Model for Human and Nature Interaction*. AGU, Fall Meeteng 2011.
- <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>: NASA, 2012.
- Poblete, G., J. L. Minetti y E. M. Sierra (1989): "La influencia del régimen hídrico Andino-Puneño en el oasis del Noroeste Argentino y

Cuyo". *Rev. Geof.* 30, 137-149- IPGH-OEA. México.

- Rampino, M. R. y S. Self (1984): "Efectos atmosféricos de El Chichón". En "*El Clima*". *Prensa Científica*, 99-108. Barcelona.
- Rampino, M. R. y S. Self (1984): "Efectos atmosféricos de El Chichón". En "*El Clima*". *Prensa Científica*, 56-66. Barcelona.
- Revele, R. (1982): "Dióxido de Carbono y clima mundial". En "*El Clima*". *Prensa Científica*, 99-108. Barcelona.
- Spiegel, M. R. (1969): *Estadística*. Mc Graw-Hill. Panamá, 357 pgs.
- Taljaard, J. J., H. van Loon, H. L. Crutcher and R. L. Jenne (1969): "Climate of the upper air. Part 1- Southern Hemisphere". Vol. 1. *Temperatures, dew points, and heights at selected pressure levels*. Navair 50-1c-55. NCAR. Boulder.
- Troup, A. J. (1965): "The 'Southern Oscillation'". *QJ RMS*, vol. 91, issue 390, 490-506.
- Yamamoto, R., T. Iwashima, S. N. Kadi and M. Hoshiai (1985): "Climatic Jump: A Hypothesis

in Climatic Diagnostic". *J. Met. Soc. of Japan* 63, 1157-1160.

- Yamamoto, R., T. Iwashima and M. Hoshiai (1987): "Climate Jump in the polar region". *Pros. NIPR Symp. Polar Met. Soc.* 1, 91-102.
- Vargas, W. M., J. L. Minetti and A. G. Poblete (1995): "Statistical Study of Climatic Jump in the Zonal Circulation Over South America". *Jou. Met. Soc. of Japan*, vol. 73, Nº 5, pp. 849-56. Japón
- Vargas, W. M. y J. L. Minetti (1997): "Inhomogeneidades en series de temperatura del Noroeste Argentino". *Meteorológica*, vol. 22, Nº1, pp. 23-34. CAM. Buenos Aires.
- Vargas, W. M., J. L. Minetti and A. G. Poblete (2002): "Low-frequency oscillations in climatic and hydrological variables in southern South America's tropical-subtropical regions". *Teor. and Appl. Clim.* 75, 1-12.
- World Meteorological Organization (1966): "Climatic Change", *Technical Note* Nº 79. Geneve.
- Zhou, J. and K. M. Lau (1998): "Does a Monsoon Climate Exist over South America?". *J. Climate* 11, 1020-1040.