

TENDENCIAS PLUVIOMÉTRICAS DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA

PERÍODO 1873-2005

A de la Casa¹, CL Di Prinzio², OB Nasello²

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Córdoba.

²Facultad de Matemática Astronomía y Física - Universidad Nacional de Córdoba.

Ciudad Universitaria (5000) Córdoba, Argentina.

²Investigador del CONICET

Se realizó un estudio de la evolución temporal de la precipitación anual registrada en la Ciudad de Córdoba, por el Servicio Meteorológico Nacional, desde 1873 hasta la fecha. Los datos analizados muestran un cambio significativo en la tendencia a partir de la mitad del siglo pasado. Se observa que el promedio anual de lluvias ha aumentado más de 100 mm en los últimos 50 años. Se analizan los cambios en la tendencia de la serie a partir de métodos que actualmente se presentan en la literatura para establecer él o los años cuando se producen los puntos de quiebre más notables. Los resultados obtenidos se comparan con las tendencias de temperatura globales observándose que la precipitación anual de la ciudad de Córdoba esta altamente correlacionada con tendencia mundial de esta variable.

The temporary evolution of the annual precipitation registered in the City of Córdoba Argentina, by the National Meteorological Service, from 1873 to date, was studied. The analyzed data show a significant change in the tendency from the last half of century. It is observed that the annual average of rains has increased 100 mm in the last 50 years. The changes in the tendency of the series are analyzed to establish the years when the more notables break points take place. The obtained results are compared with the tendencies of globe temperature being observed that the annual precipitation of the city of Cordoba is highly correlated with world-wide tendency of this variable.

I. INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones anuales, junto con los valores de temperatura global, han experimentados en las últimas décadas un aumento significativo [1].

En nuestro país estos cambios también han sido observados y numerosos son los trabajos que así lo demuestran. Como veremos en la revisión que presentaremos a continuación, estos trabajos son en general estudios climatológicos de grandes regiones. Además, los mismos fueron realizados desde el punto de vista agropecuario o para evaluar la posibilidad de inundaciones ocasionadas por el desborde de los ríos. En la literatura, sin embargo, no hemos encontrado un estudio realizado particularmente para la ciudad de Córdoba, Argentina. Este estudio consideramos que resulta de suma utilidad, ya que la ciudad de Córdoba posee en la actualidad más de un millón de habitantes y está experimentando un crecimiento edilicio muy marcado. El conocimiento del régimen de lluvias y las predicciones a futuro son por lo tanto altamente necesarios. Por otra parte, los datos meteorológicos de la Ciudad de Córdoba tienen un interés científico particular, pues aquí se encuentra el primer observatorio meteorológico de la Argentina y de Sur América, el cual ha funcionando ininterrumpidamente, y sin cambiar su emplazamiento desde su inauguración el 24 de octubre de 1871. Es así que este conjunto de datos se encuentra muy próximo al conjunto de las primeras mediciones

meteorológicas realizadas a nivel mundial, que datan alrededor de 1850.

El objetivo de este trabajo es analizar la serie pluviométrica de la ciudad de Córdoba, evaluando sus tendencias y comportamiento a través del tiempo, en comparación a las tendencias de la temperatura registradas a nivel local y global. En el análisis de las tendencias se emplearan métodos recientemente desarrollados para identificar puntos de quiebre, que marcan la transición desde un período con una tendencia quasi-lineal a otro. La identificación de estos puntos es de utilidad para identificar cambios violentos producidos por agentes externos tales como una erupción volcánica o simplemente internos debidos a la propia variabilidad climática.

Este trabajo esta organizado de la siguiente manera: 2- reseña los trabajos mas recientes realizados sobre el campo de precipitación en zonas que incluyen a la ciudad de Córdoba. 3- Presentación de los datos. 4- Análisis de los resultados obtenidos en los registros de lluvia y comparación de estos registros con las tendencias de temperatura a nivel local y global. 5- Conclusiones.

II. RESEÑA BIBLIOGRÁFICA

Existen numerosos trabajos sobre tendencias de lluvias que incluyen a la región en estudio. El mas reciente sobre las tendencias totales y extremas en Sur América y su relación con la temperatura de la superficie del mar es el de Haylock et al (2006) [2]. En este trabajo se ve

claramente como los cambios en la región central de Argentina tienen una alta correlación con los cambios en la temperatura de la superficie del mar.

Estudios más localizados fueron realizados por diversos autores. [3-9]

Liebmann et al. (2004) [3] estudiaron las tendencias de precipitación en el período 1976-1999 en el área localizada entre 10°N-40°S y 75°O-35°O. En toda la región, a excepción de una franja de ~10° localizada a lo largo del río Amazona y en una franja de ~5° en el centro norte de la Argentina que va desde la provincia de Tucumán hasta el sur de Uruguay, encontraron que el total de la precipitación en los meses de verano DEF se ha incrementado. El aumento mayor ocurre en la latitud 25S-50°, con un incremento de 40%. Se destaca que las tendencias de precipitación son cualitativamente similares a la tendencia en la temperatura de la superficie del océano (SST) en el hemisferio sur.

Doyle and Barros (2006) [4] analizaron tendencias anuales de precipitación en el período 1960-1999 y su relación con las fases del fenómeno del Niño¹. La región estudiada es la zona de la cuenca del Río de la Plata, ie. Norte y centro de la República Argentina, Sur de Brasil y Paraguay y todo Uruguay. Las tendencias observadas son predominantemente positivas al sur del paralelo 22, con un máximo al sur de la provincia de Buenos Aires de 4 mm/año o más. Ie. Excediendo 160 mm en 40 años, o sea el 30 % del valor inicial. Estos autores concluyen que los eventos Niños contribuyen significativamente a la tendencia general en el Norte de la Argentina, Sur de Brasil y Paraguay. Sin embargo en el centro de la República Argentina y en el Sur del Uruguay la contribución más importante se da en la fase neutra.

Penalba OC, Roblado FA. (2006) [5] estudiaron las tendencias en la persistencia y la frecuencia en las precipitaciones en la región de la cuenca del Plata. El período más largo analizado es 1908-2004. Estos autores encontraron que la tendencia anual en la frecuencia y persistencia de la lluvia ha aumentado en casi toda la región y en todas las estaciones del año a excepción de los meses de invierno (JJA).

Minetti et al (2003) [6] analizan las tendencias de la precipitación en toda la República Argentina y Chile, a excepción de una franja alrededor de los 48°S, y definen los años agrícolas desde julio a junio del año siguiente. En el período 1931-1999 analizan el cambio en las precipitaciones totales anuales con tendencias no-lineales y realizan una regionalización del País de acuerdo a las tendencias con características similares. Los resultados obtenidos muestran que existe una región con tendencias permanentes de precipitación total anual decreciente situada en el centro de Chile y otras dos en Argentina, con tendencias decrecientes en los últimos años. Entre las

¹ Se usó para definir estos eventos el Índice de la oscilación Sur, calculada como la diferencia estandarizada mensual de la presión al nivel del mar entre Tahití y Darwin y la media mensual de la temperatura del mar para la región El Niño 3.4 (5S-5N; 170W-120W). Se consideró Niño (Niña) si la anomalía en la SST de los promedios móviles de 5 meses estaban arriba (abajo) 0.4oC (-0.4oC) por un período mínimo de 6 meses.

segundas se encuentra Norte de Salta, Santiago del Estero, Norte y Centro de Córdoba, Centro-Sur de Santa Fe y Noreste y extremo Sur de Buenos Aires por un lado y el Oeste de las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza. En el resto del País, en general la tendencia obtenida fue creciente.

Ravelo et al (2002,2003) [7,8] focalizan sus estudios en la Provincia de Córdoba y presentan además tendencias pluviométricas del Centro País, en la región comprendida entre las latitudes 66°-57° O y 29-33° S (Provincias de Córdoba, Buenos Aires, Entre Ríos, Centro-Sur de la provincia de Santa Fe y Este de La Pampa). El período de años analizados es 1931-2000. En estos trabajos se observa que la ciudad de Córdoba, con un aumento en la precipitación de 4 mm/año, se encuentra entre las localidades de la región donde más se ha incrementado la precipitación anual. El incremento mayor es de 6.7 mm/año y se registró en la Ciudad de General Pico. Es de destacar que en la región analizada existe una zona (la central) donde se observan valores de tendencias negativos y neutros. Estos autores destacan que el incremento en las precipitaciones anuales ha generado incrementos notables en la superficie cultivada y en los rendimientos de las cosechas.

Ovando et al. (1999)[9] analizan la variabilidad temporal de la precipitación media anual en la Provincia de Córdoba. De un total de 318 estaciones meteorológicas se analizaron sólo aquellas que presentaban más de 8 años de datos durante la década 1970/79, es decir 133, y se comparó este período respecto al normal 1921/50. En este trabajo se observa claramente el desplazamiento hacia el oeste de las isoyetas en la década analizada respecto al período normal. Se observa que donde la precipitación presentaba valores normales de 800mm anuales, su valor en la década del 1970/79 era de 900mm anuales. También en el oeste en la citada década se incrementaron de 400 a 500 mm/anuales. Este trabajo muestra que en la región cercana a la ciudad de Córdoba el aumento de la precipitación anual ha sido altamente significativo.

III. DATOS ANALIZADOS Y METODOLOGÍA

Los datos de lluvias y temperatura analizados corresponden a los registros mensuales para los períodos 1873-2006 y 1873-1998, respectivamente, obtenidos en la estación del Servicio Meteorológico Córdoba ubicada en: Latitud: 31°26'17"; Longitud 64°11'53"; Altura sobre el nivel del mar 359 m

El registro total de datos fue analizado para detectar la falta de datos o algún dato erróneo. A partir del año 1960 se dispone de datos de otras estaciones cercanas y, en estos años, los datos dudosos fueron cotejados con el de las otras estaciones, encontrándose siempre una buena correlación entre ellos. En estos años algunos datos faltantes fueron completados con los del Observatorio ubicado en el aeropuerto Córdoba.

Los datos de temperatura globales utilizados son los provistos por Jones et al (2006) [10] en:

http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/hadcrut3vs_h.txt Los valores reportados corresponden a las anomalías en la temperatura media anual combinada de mar y tierra

sobre una grilla de 5° por 5° localizada en el hemisferio sur. Las anomalías fueron computadas respecto al periodo “normal” 1960-1990. Estos valores se usaron porque son de acceso libre y corresponden a los graficados por los autores en su página. Como se puede usar la base de datos completa de la serie, la comparación resulta así más directa y simple de realizar.

Las tendencias general de las series fueron analizadas realizando ajustes no lineales con polinomios de distinto grado. Además, se empleó el método desarrollado por Tomé y Miranda (2004) [11] para encontrar la mejor combinación de segmentos continuos que minimiza la suma de los residuos al cuadrado. Para este estudio se usó el mismo programa desarrollado por Tomé y Miranda (2004) [11]. Se realizó este tipo de análisis ya que muchos autores señalan que las tendencias lineales no son adecuadas para describir el comportamiento de baja frecuencia de las series climáticas. La inspección a simple vista de los datos muestra que el cambio en las mismas no ocurre en una manera persistente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Registros de lluvia en la ciudad de Córdoba

Analizando los valores anuales de la precipitación registrada en la ciudad de Córdoba en el periodo 1873-2005 y los ajustes por polinomios de distintos grado, se ve claramente que la serie de tiempo no presenta una tendencia uniforme en todo el periodo, notándose un cambio significativo en la segunda mitad del siglo pasado.

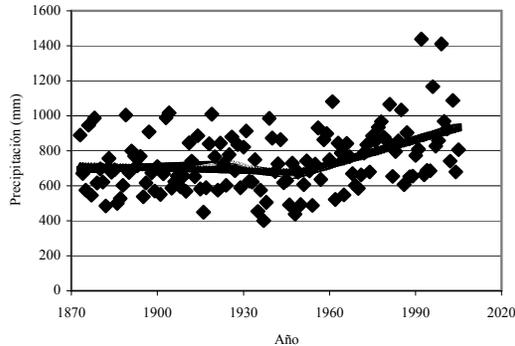


Figura 1: Valores anuales de la precipitación registrada en la ciudad de Córdoba en el periodo 1873-2005 junto con las líneas de tendencias separadas por periodos de 25 y 40 años

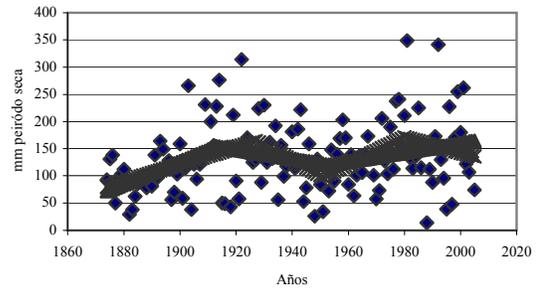
Para visualizar estos cambios y encontrar los puntos de quiebre en la tendencia se realizó el estudio propuesto por Tomé y Miranda (2004) [11]. El análisis se realizó suponiendo periodos de homogeneidad cercanos a 20, 25, 30 y 40 años. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 1. En esta figura se han presentado solamente las líneas de ajuste con quiebres separados por periodos de 25 y 40 años, ya que las otras dos curvas son muy similares. La figura muestra que la serie analizada presenta solo dos tendencias bien marcadas, las cuales se pueden representar usando los ajustes obtenidos con los periodos de cuarenta años. En este caso se obtiene

Periodo	Valor inicial (mm)	Tendencia (mm/año)
1873-1949	714	-0.5
1949-2005	678	4.8

Los valores obtenidos en la última mitad del siglo concuerdan con los valores individuales reportados por [4, 7-9]. No así con el obtenido por [6], el cual encuentra en la región Central de Córdoba una tendencia a disminuir.

Es importante destacar la gran variabilidad del fenómeno. Si descontamos la tendencia observada a partir de 1948, el residuo de los datos tiene una desviación estándar de 180 mm/año. Esto hace que, años de relativa sequía (600 mm/año) o muy lluviosos (mas de 1200 mm/año), se hayan observado mas de una vez en el periodo analizado.

a)



b)

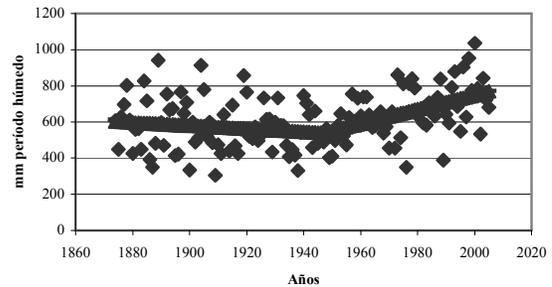


Figura 2: Valores la precipitación registrada en la ciudad de Córdoba en el periodo 1873-2005 junto con las líneas de tendencias separadas por periodos de 25 y de 40 años. a) estación seca mayo-septiembre b) estación húmeda.

Para estudiar las tendencias estacionales el año se dividió en dos periodos, uno correspondiente al periodo seco entre abril y septiembre y, el otro, al periodo húmedo de octubre a marzo del año siguiente. Los resultados se muestran en las figuras 2a y b, respectivamente. En estas figuras se presentan solo las líneas con quiebre separados por periodos de 25 y de 40 años, ya que los resultados intermedios son muy similares. En la figura 2b se observa que en la estación húmeda el comportamiento general de la precipitación es similar al correspondiente a todo el año (fig.1), lo que era de esperar.

La figura 2a correspondiente a la estación seca, además de mostrar el punto de quiebre en 1950 igual al observado en la figura 1, muestra una tendencia a subir hasta los años 30 y luego, entre el 30 y 40, hay una marcada tendencia a disminuir.

b) Registros de temperatura en la ciudad de Córdoba

En la figura 3 se muestra como ha ido evolucionando la temperatura media en la ciudad de Córdoba. Sobre esta curva no realizaremos el análisis de los puntos de quiebre, pues estos datos están muy influenciados por el efecto de calentamiento que se produce en las ciudades al incrementar la superficie construida. Notamos que en la primera mitad del siglo la temperatura aumentó ~ 3°C, y que luego se mantuvo aproximadamente constante. (La línea de tendencia de este último período da una pendiente de 0.009°C/año, mientras que la del primer período es de 0.03°C/año).

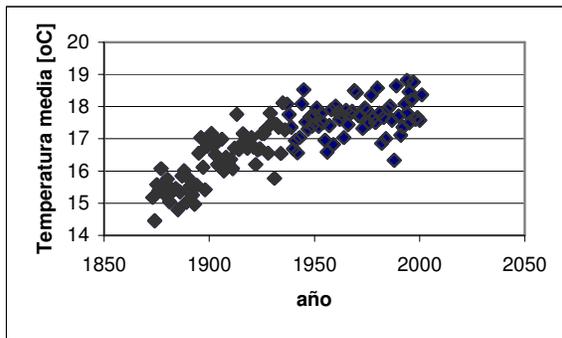


Figura 3: Valores temperatura media registrada en la ciudad de Córdoba en el período 1873-1998

c) Registros de anomalías en temperatura media del hemisferio sur.

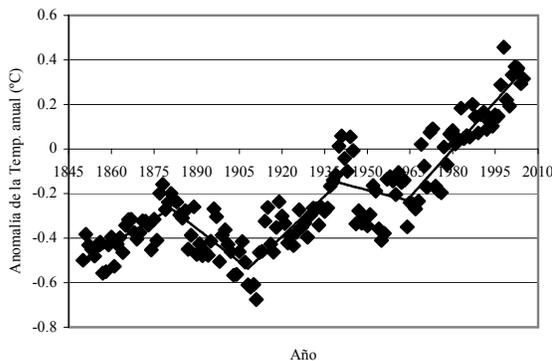


Figura 4: Valores anuales de la temperatura media del hemisferio sur reportadas por Jones et al (2006) [10] junto con las líneas de tendencias separadas por períodos de 25 años.

En la figura 4 se presentan los valores de la anomalía en temperatura media, respecto al valor “normal” 1960-1990, publicados por Jones et al (2006) [10], junto con las líneas de tendencias correspondiente a un período de 25 años

obtenida en forma similar a las mostradas en la figura 2. Las tendencias de 20, 30 y 40 años también fueron calculadas, sin embargo mostramos sólo la de 25 años pues consideramos que es la que mejor muestra la tendencia general de la serie. Los valores de pendiente obtenidos para cada tramo son:

Período	Valor inicial (°C)	Tendencia (°C/año)
1850-1881	-0.5	0.007
1881-1908	-0.27	-0.010
1908-1940	-0.54	0.012
1940-1964	-0.15	-0.003
1964-2005	-0.23	0.014

En la tabla anterior observamos que los dos últimos puntos de quiebre se producen en los años 1940 y 1964, en concordancia con los valores reportados por Menne (2006) [12]. Menne perfeccionó el método de Tomé y Miranda para la obtención de puntos singulares y analizó la anomalía en temperatura media global reportada por Jones et al [10] y por otros autores. Estos autores, al igual que Seidel and Lanzante (2004) [13] utilizan un modelo de líneas y escalones, es decir períodos cuasi-lineales interrumpidos por abruptos cambios, pero minimiza el número de suposiciones realizadas a priori. Menne [12] concluye que la fase más reciente de calentamiento comienza en 1963, en lugar de 1975–77 (Karl et al 2000, [14]), y que la tendencia entre 1946 y 1963 no es estadísticamente significativa.

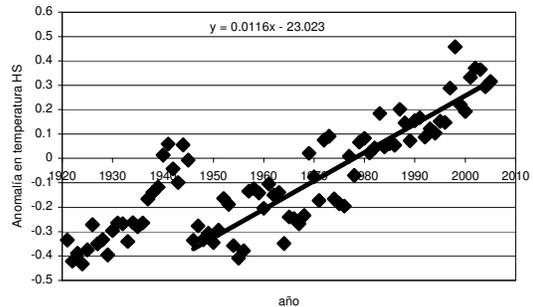


Figura 5: Valores anuales de la temperatura media del hemisferio sur reportadas por Jones et al (2006) [10].

Comparando las figuras 1 y 4 parece haber discrepancias en las tendencias observadas en las lluvias caídas en la ciudad de Córdoba y la temperatura media del hemisferio sur. Sin embargo, una inspección visual de la figura 3 nos indica que alrededor de 1945 hubo un cambio brusco en la temperatura y que, desde entonces, la temperatura ha crecido monótonamente como se observa en la figura 5. Este punto singular concuerda muy bien con el último punto de quiebre mostrado en la figura 1. Es de hacer notar que, de acuerdo con Brohan et al. (2006) [15], la incerteza en los valores de temperatura media, por ellos provistos [11], son mucho menores en la última mitad del siglo 20. Además, como estos autores señalan, si bien los valores de temperatura del mar previos a 1940 fueron corregidos por cambios en la forma de medición y otros factores, es posible que todavía haya incertezas no

cuantificadas. Por esta razón, como la mayor parte de la superficie del hemisferio sur esta cubierta por agua, consideramos que las variaciones observadas en la temperatura previas a 1940, bien podrían ser consistentes con el valor casi homogéneo de lluvias registrados en Córdoba previas a 1940. Por lo tanto, consideramos altamente notable la correlación existente entre las tendencias observadas entre los datos de lluvia en la Ciudad de Córdoba y la temperatura media del HS. Esta observación podría extender a todo el período 1973-2005 la correlación notada por Haylock et al (2006) [2] para el período 1960-2000.

V. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha usado el formalismo de Tomé-Miranda para identificar cambios en las líneas de tendencias en las series anuales de precipitación ocurridas en la Ciudad de Córdoba y de temperaturas medias globales del Hemisferio Sur. Se encontró que en la primera mitad del siglo tanto las variaciones en la lluvia caída como las de la temperatura media del HS son muy poco notables, comparada con la que se observa a partir de 1950. En el caso de las lluvias de la Ciudad de Córdoba, a partir de 1948 se han incrementado a razón de 4.8 mm/año, y la temperatura media 0.012 °C/año.

Según los Brohan et al. 2006 [16] los valores de temperaturas medias por ellos reportados, pueden tener una incerteza mayor en la primera mitad del siglo que en la segunda. Por este motivo, si bien no encontramos una correlación directa entre ambas series vemos altamente notable la coincidencia existente entre las tendencias observadas entre los datos de lluvia en la Ciudad de Córdoba y la temperatura media del HS.

En general, las actuales temperaturas medias del planeta son las mas altas registradas en los últimos tiempos (por ejemplo, agosto próximo pasado fue el mas caliente de los últimos 127 años.

<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/GLB.Ts.txt>

Las causas de este fenómeno es un tema de gran actualidad pero, sin embargo, la última palabra no ha sido dicha aún. La mayoría de los trabajos científicos atribuyen este calentamiento al efecto de los gases invernadero, razón por la cual las predicciones indican la persistencia de la tendencia, y un incremento aún mayor. Es de hacer notar, sin embargo, que en la actualidad se han incrementados los estudios de la influencia de la actividad solar sobre los cambios climático. Estos estudios revelan que en la actualidad estamos en un máximo de actividad solar, lo que explicaría en parte en aumento de la temperatura en las ultimas décadas [14]

Con respecto a los datos de lluvia de la Ciudad de Córdoba, la tendencia observada y su relación con la temperatura media del HS, nos indicarían que la tendencia positiva en los registros de temperatura en el hemisferio sur podría haber comenzado alrededor 1950 en lugar de en 1975, como lo reporta Karl et al (2000) [15], o en 1965 como lo reporta Menne 2006 [12].

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido posible gracias a los subsidios otorgados por el CONICET, y

SECyT-UNC. Agradecemos la colaboración del Sr. José Barcelona por su apoyo técnico

REFERENCIAS

1. WMO statement on the status of the global climate in 2005 WMO- No 998.
<http://www.wmo.ch/web/catalogue/freedwn/index.html>
2. Haylock MR., Peterso TC, Aves LM, Ambrizzi T, Anunciacao MT, Baez J, Barros VR, Berlato MA, Bidegain M, Coronel G, Corradi V, Garcia VJ, Grim AM, Karoly D, Marengo JA, Marino MB, Moncunill DF, Nechet D, Quntana J, Rebello E, Rusticucci M, Santos JL, Trebejo I, Vicent LA. Journal Of climate, 2006, 19, 1490-1512.
3. Liebmann B, Vera CS, Carvalho LMV, Camilloni IA, Hoerling MP, Allured d. Barros VR, Baez J, Bidegain M. J. Of Climate (2004) 17, 4357-4367
4. Doyle ME, Barros VR Proceeding of 8 ICSHMO, Foz de Iguazú, Brazil, (2006), INPE, 1513-1517.
5. Penalba OC, Roblado FA. Proceeding of 8 ICSHMO, Foz de Iguazú, Brazil, (2006), INPE, 341-352
6. Minetti JL, Vargas WM, Poblete LR, Casagrande G Atmósfera 16 (2003) 119-135
7. Ravelo AC, Irastorza, RO, Luque LE. (2002) Rev. Arg. de Meteorología, 2 (1) 69-74
8. Ravelo AC, Irastorza RO, Zanvettor RE (2003) Rev. Arg. de Meteorología, 3-4 (1) 85-90
9. Ovando G, de la Casa A, Rodríguez A 8ª Reunión Argentina de Agrometeorología Mendoza (1999)
10. Jones, P.D., D.E. Parker, T.J. Osborn, and K.R. Briffa. 2006. Global and hemispheric temperature anomalies--land and marine instrumental records. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A
11. Tomé AR, Miranda PMA (2004) Geophys. Res. Lett., 31, L02207.
12. Menne JM , 18th Conference on Climate Variability and Change
<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/100694.pdf>
Abrupt global temperature change and the instrumental record.
13. Seidel DJ, Lanzante JR (2004) J. Geophysical Research, 109, D14108
14. Duhau S. (2006) Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 31, 1-3, , Pages 99-108
15. Karl TR, Knight RW, Baker B (2000) Geophysic. Res. Lett, 27 (5), 719-722.
16. Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Haris, S.F.B. Tett and P.D. Jones, 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophysical Research* **111**, D12106.