

ANÁLISIS DE LAS SERIES DE DATOS ANUALES EN LA ESTACIÓN PARANÁ-INTA

H. Grossi Gallegos* y M. I. Spreafichi**
Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional
Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires, ARGENTINA
Telefax: (54-11) 4455 6762, E-mail: risol_sanm@yahoo.com.ar

RESUMEN: La insuficiencia generalizada de datos de irradiación solar con condiciones estadísticas de representatividad temporal y espacial es el motivo para usar la heliofanía y otras variables relacionadas para estimarlos. Estas series de valores medidos a través de largos períodos permitirían investigar también las probables consecuencias climáticas relacionadas con el Cambio Climático Global. En este trabajo se presentan los resultados del análisis estadístico de las series temporales de los promedios anuales de irradiación solar global, heliofanía efectiva, nubosidad, amplitud térmica y precipitación registrados en Paraná, Argentina, con la aplicación del test de Mann-Kendall y se discuten los resultados obtenidos.

Palabras clave: radiación solar, series temporales, tendencias, Cambio Climático.

INTRODUCCIÓN

En noviembre de 1978, como proyecto de la Organización de los Estados Americanos (OEA) identificado bajo el título "*Aprovechamiento de la energía solar: Relevamiento Solarimétrico*", y contando ya también con el apoyo de la entonces Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (SECYT), comenzaron a instalarse las primeras estaciones de medición de la Red Solarimétrica en el noroeste argentino, equipadas con sensores fotovoltaicos, publicándose en julio de 1979 el primer número de un Boletín con datos de 5 estaciones de las 12 que estaban operando para ese entonces (vale la pena mencionar que llegaron a publicarse 13 Boletines semestrales con la información diaria de la radiación global y de otros parámetros de interés). En el año 1985 estaban instaladas en Argentina 41 estaciones de medición diaria de la radiación solar global, a las que debían agregarse 3 operando en Bolivia en calidad de préstamo como parte de un convenio de cooperación (al poco tiempo se instalaron otras 2 en el Paraguay).

A mediados de diciembre de 1978 se instaló en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA-Paraná una estación de la mencionada Red, integrada por un solarímetro fotovoltaico marca Rho Sigma acoplado a un integrador electrónico SIDCON 5011, la que ha operado regularmente desde entonces, siendo la estación que posee registros más extensos de irradiación solar global diaria.

En los últimos años se ha dedicado bastante trabajo al rescate, análisis y evaluación de los datos de heliofanía (también denominada horas de brillo solar) por ser uno de los parámetros más ligados a la irradiación solar que posee registros históricos de gran extensión y distribuidos con vastedad por todo el mundo. Su interés reside no sólo en la posibilidad de estimar la irradiación global a partir de correlaciones estadísticamente establecidas (Grossi Gallegos *et al.*, 2003; Righini y Grossi Gallegos, 2003) sino también para analizar la posible influencia del Cambio Climático Global (CCG) sobre el régimen solar (Grossi Gallegos y Atienza, 1995; Blázquez y Grossi Gallegos, 1996; Blázquez y Grossi Gallegos, 1997) con las consecuencias que ello podría traer asociadas sobre la producción agrícola (Grossi Gallegos y Magrin, 1993; Magrin *et al.*, 1997).

Resulta entonces por demás interesante analizar la existencia de posibles tendencias en una estación como Paraná que, además de heliofanía, dispone de series de casi 30 años de datos de irradiación global, temperatura, precipitación y nubosidad, algunas de las cuales han sido asociadas a la estimación de la radiación como alternativa ante la falta de mediciones directas (Grossi Gallegos *et al.*, 2006). Además, esta estación está ubicada en la zona noreste de la Pampa Húmeda en la que se detectó una tendencia decreciente significativa al 5%, si bien un análisis posterior de la incerteza instrumental las enmascaró (Grossi Gallegos y Spreafichi, 2007).

En este trabajo se pretende analizar la existencia de posibles tendencias utilizando los métodos recomendados por el Grupo de Trabajo en Fluctuaciones Climáticas de la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.), en particular, el planteado originalmente por Mann en 1945 y que fuera reformulado por Kendall en 1948 (Kendall and Stuart, 1961).

MATERIALES Y MÉTODO

Para este trabajo se consideró la estación ubicada en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA ubicada en Paraná (31°17'S, 61°33'W) y se tomaron los promedios mensuales de irradiación global consistidos y almacenados por la Red Solarimétrica, la heliofanía efectiva, la nubosidad y la amplitud térmica tomada por el observador de la estación y grabada en el Banco de Datos del Servicio Meteorológico Nacional, correspondientes al período en el cual se dispone de datos solares.

* Investigador del CONICET

** Profesional de Apoyo del CONICET

Se calcularon en primer lugar los promedios anuales para los años que tenían completos los registros mensuales, con lo cual en algunos casos la muestra se redujo, y se consideraron luego las series históricas restantes, las que fueron analizadas con el test de Mann-Kendall (nivel de significancia del 5%).

Se presentan en las figuras 1 a 4 las series de los promedios anuales de irradiación solar global (medida con un solarímetro fotovoltaico Rho Sigma modelo 1008), los de heliofanía efectiva (por estar correlacionada a través de la ecuación de Ångström-Prescott), los de nubosidad (por estar correlacionada a través de una ecuación lineal o cuadrática, como la de Black), los de la raíz cuadrada de la amplitud térmica (así utilizada en el modelo de Hargreaves) y de los valores de la precipitación total anual (tomada sólo como indicador de cielo cubierto, ya que es discutible la correlación de su intensidad con la irradiación solar).

En el caso de la nubosidad, como en esta estación se realizan tres lecturas diarias (correspondientes a las horas 6, 12 y 18 del meridiano de Greenwich, GMT), se analizó el comportamiento de cada una de las series y resultó similar. Se podría haber utilizado la media aritmética, práctica habitual usada al confeccionar las Estadísticas Climatológicas del SMN, pero se prefirió analizar las lecturas correspondientes a las 18 GMT, llevadas a cabo a las 15 horas locales (aproximadamente las 14 solares), por considerarla más próxima al máximo solar. De todas maneras, debe tenerse en cuenta que esta variable tiene una componente subjetiva muy grande y sólo estima en octavos la fracción de cielo cubierto, sin discriminar la ubicación, opacidad o altura de las nubes.

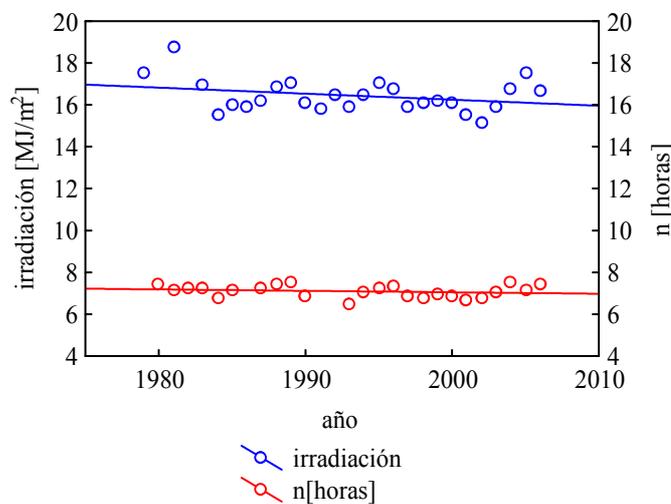


Figura 1. Series temporales de los promedios anuales de la irradiación solar global diaria (medida en MJ/m²) y de la heliofanía efectiva (medida en horas) registrados en la estación Paraná.

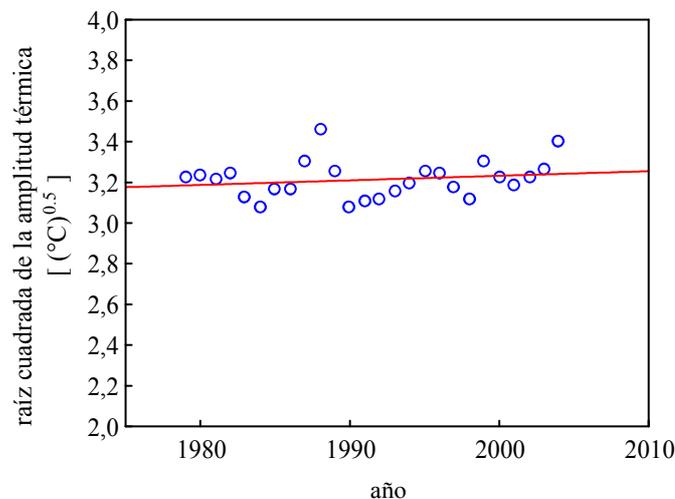


Figura 2. Serie temporal de los promedios anuales de la raíz cuadrada de la amplitud térmica diaria ($T_{MAX} - T_{MIN}$) registrados en la estación Paraná (medida en $^{\circ}C^{0,5}$)

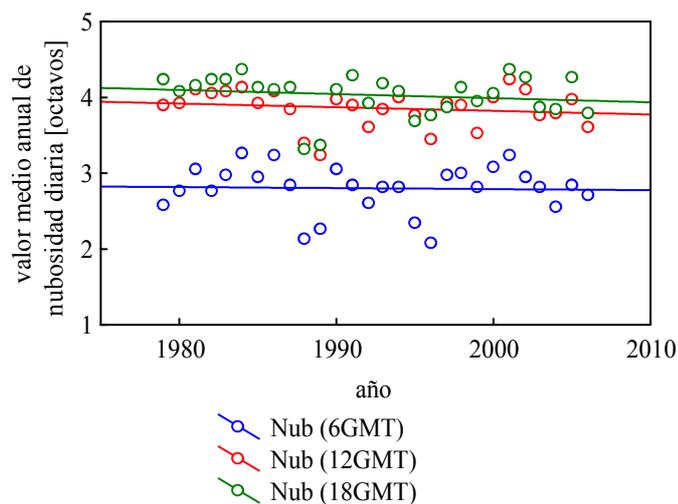


Figura 3. Series temporales de los promedios anuales de la nubosidad (cobertura de nubes, medida en octavos de cielo cubierto) registrada en la estación Paraná a las 6 GMT, 12 GMT y 18 GMT (GMT: Greenwich Meridian Time).

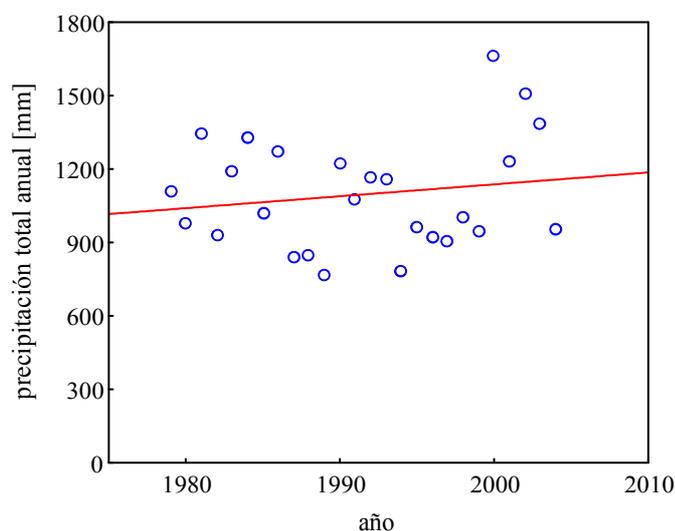


Figura 4. Series temporales de los totales anuales de la precipitación (medida en mm) registrados en la estación Paraná.

RESULTADOS

Las tendencias halladas en las series de promedios anuales de la irradiación solar global diaria y de todos los parámetros habitualmente correlacionados con ella resultaron aleatorias, esto es, no significativas al nivel del 5%, de acuerdo con los resultados del test de Mann-Kendall utilizado. Los valores de las pendientes de las rectas trazadas por cuadrados mínimos resultaron levemente negativos para la irradiación global ($-0.029 \text{ MJ/m}^2/\text{año}$), la heliofanía efectiva (-0.007 horas/año) y la nubosidad ($-0.001 \text{ octavos/año}$, para las lecturas de las 6 GMT, y $-0.005 \text{ octavos/año}$ 12 y 18 GMT), mientras que fueron levemente positivos los valores de las pendientes de la raíz cuadrada de la amplitud térmica ($+0.0023^\circ\text{C}^{0.5}/\text{año}$) y de la precipitación ($+4.9 \text{ mm/año}$). En esta última serie el alto valor observado en el año 2000 corresponde a un fenómeno ocurrido en el mes de abril (con un total de 473.4 mm) que provocó un desvío mayor al 200 % de la normal 1961-1990; el mismo tuvo centros registrados en Paraná (estaciones Aero e INTA) y en Gualeguaychú. Este fenómeno se repitió, con menor intensidad, en el año 2002 (figuras 6 y 7).

Como ya se dijo antes, las variables elegidas no son independientes y suelen ser utilizadas como estimadores alternativos de los promedios de la irradiación solar global. Para tratar de encontrar una explicación a estos resultados se calculó en primer lugar la correlación lineal existente entre los promedios mensuales del índice de claridad y los de la heliofanía relativa (en este caso, sólo para 3 años) para esta localidad, presentándose los resultados en las figuras 8. Por otra parte, se siguió el mismo procedimiento con los promedios mensuales de nubosidad y se los muestra en la figura 9.

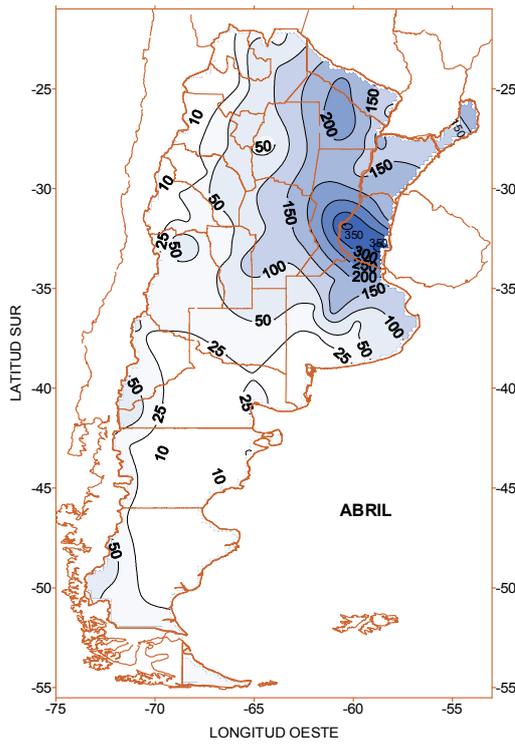


Figura 6. Totales de precipitación (mm).

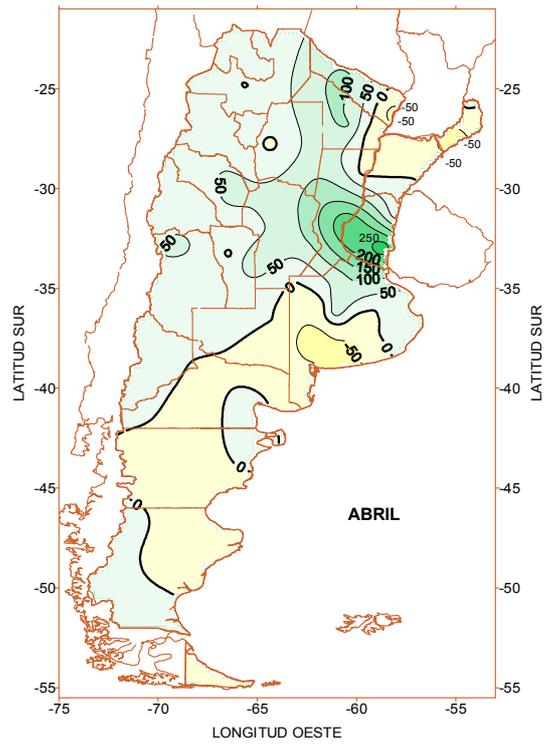


Figura 7. Desvíos de la precipitación con respecto a la normal 1961-1990 (mm).

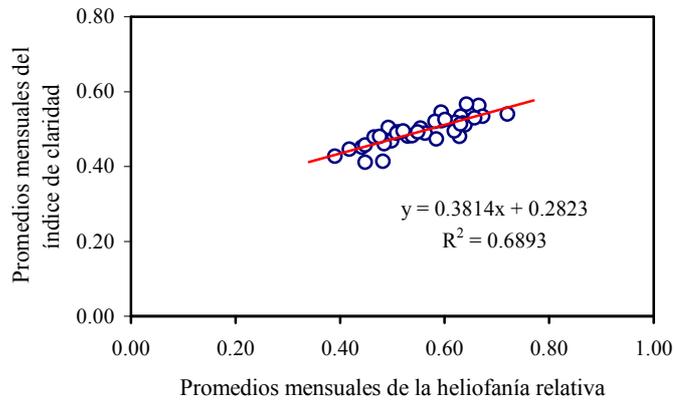


Figura 8. Correlación lineal establecida entre los promedios mensuales del índice de claridad y los de la heliofanía relativa calculados para 3 años en la estación Paraná.

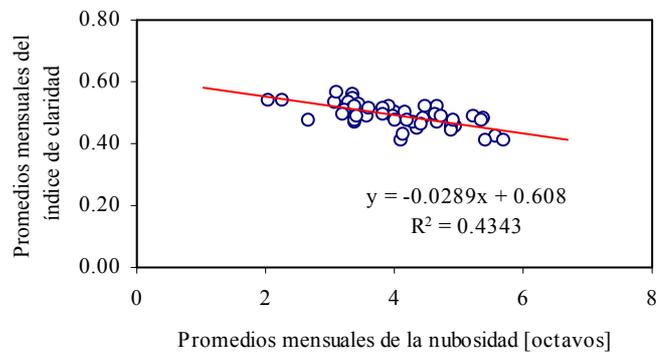


Figura 9. Correlación lineal establecida entre los promedios mensuales del índice de claridad y los de la nubosidad calculados para 3 años en la estación Paraná.

Si bien el valor del coeficiente de determinación no es muy grande, queda evidente la pendiente positiva en el primer caso (aumento de irradiación seguido por aumento en la heliofanía) y negativa en el segundo (aumento de la nubosidad seguido por una disminución en la irradiación).

Aumentando el período de integración a una base anual (similar a la utilizada en este trabajo) y repitiendo el análisis para todos los datos disponibles, se obtuvieron los resultados que se muestran en las figuras 10 y 1; al correlacionar promedios anuales, si bien se mantiene en general la tendencia conocida, disminuyen los valores del coeficiente de determinación (aumenta la dispersión). En particular, en el caso de la nubosidad la relación es prácticamente constante, correspondiendo a un cielo semi-cubierto (que es lo que se puede observar en general en las Estadísticas Climatológicas del SMN).

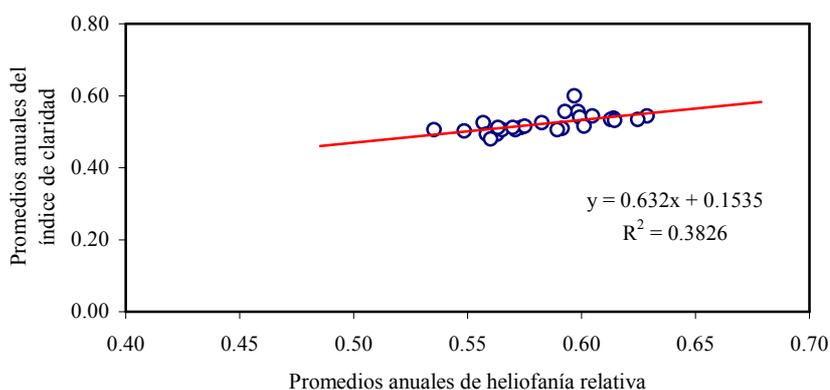


Figura 10. Correlación lineal establecida entre los promedios anuales del índice de claridad y los de la heliofanía relativa.

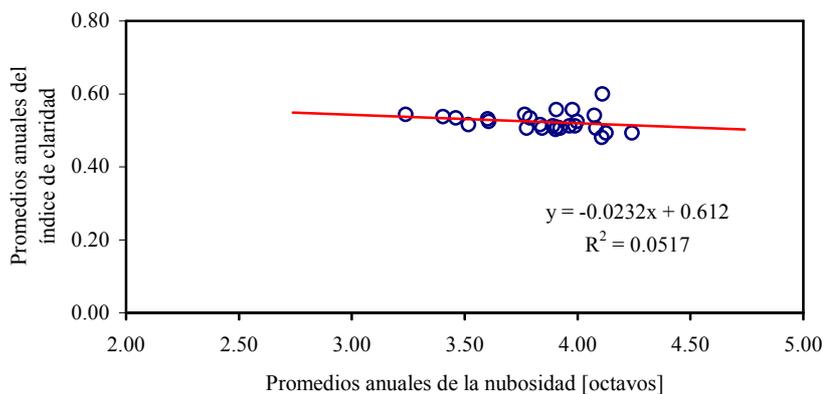


Figura 11. Correlación lineal establecida entre los promedios anuales del índice de claridad y los de la nubosidad.

CONCLUSIONES

Como ya dijéramos en trabajos anteriores, si lo que se busca es alguna indicación de variabilidad secular en el clima solar se hace necesario en primera aproximación analizar las series temporales de los promedios anuales de irradiación solar global y de las variables meteorológicas relacionadas asociadas. Descartada la misma, es preciso reducir el intervalo de integración, analizando las series temporales de valores diarios o de promedios mensuales o estacionales de estas variables para investigar su posible correlación, por ejemplo, con el Índice Multivariado ENSO (El Niño Southern Oscillation), conocido como MEI (Multivariate ENSO Index), ya que podría resultar alguna “teleconexión” con la ocurrencia de eventos “El Niño” que produzcan mayor cantidad de nubes o precipitaciones en esta región. Será conveniente para ello comparar los resultados a que se llegue en dos estaciones lo suficientemente distantes y que presenten buena estadística solar, como es el caso de San Miguel y Paraná.

Agradecimientos. Los autores desean agradecer la permanente colaboración prestada por los señores José Ares, del Banco de Datos del SMN, y José H. Saluso, Observador Meteorológico de la EEAParaná-INTA, como así también la valiosa ayuda de la Lic. Silvia Núñez, Jefa del Departamento Climatología del SMN, quien facilitó la información presentada en las Figuras 6 y 7.

REFERENCIAS

- Blázquez M. L. y Grossi Gallegos H. (1997) Resultados del estudio del comportamiento estadístico de la radiación solar y otras variables meteorológicas asociadas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **1** (1), 185-188.
- Grossi Gallegos H. y Magrin G. (1993) Evaluación de la influencia de la calidad de los datos de radiación solar global en los pronósticos de cosecha. En *Actas del 7mo. Congreso Latinoamericano de Energía Solar - 16a. Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, La Plata, Buenos Aires, Argentina, tomo I, pp. 243-250.
- Grossi Gallegos H. y Blázquez M. L. (1996) Estudio de variables meteorológicas en la Estación San Miguel, provincia de Buenos Aires. Informe de avance. En *Actas de la XIX Reunión de Trabajo de la ASADES*, tomo I, pp. 04.1-04.4, Mar del Plata, Argentina.
- Grossi Gallegos H. y Spreafichi M. I. (2004) Análisis de los datos de heliofanía en el sur de Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **6** (2), 11.19-11.24 versión CD-ROM.
- Grossi Gallegos H. y Spreafichi M. I. (2006) Análisis de las series de datos de heliofanía en estaciones de Argentina ubicadas al norte de los 38°S. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 10, pp. 11.21-11.26 versión CD-ROM.
- Grossi Gallegos, H., Righini, R., Raichijk, C. (2006) Analysis of alternatives for the assessment of the solar resource in Argentina. En *Proceedings of the World Renewable Energy Congress IX (WREC IX)*, Versión CD-ROM. Elsevier Ltd. and Florence University.
- Grossi Gallegos, H. y Spreafichi, M. I. (2007) Análisis de las series de los promedios anuales de heliofanía efectiva en Argentina. Enviado para su publicación en la revista *Meteorológica*, mayo de 2007.
- Kendall M.G. and Stuart A. (1961) *The advanced theory of statistics*, vol. 2, fourth edition. C. Griffin and Co. Ltd, London, England.
- Magrin G.O., Travasso M.I., Diaz R., Rodriguez R. (1997) Vulnerability of the agricultural systems of Argentina to climate change. *Climate Research* **9**: 31-36.

ABSTRACT: The insufficient solar irradiation data with statistical conditions for temporal and space representativeness is the motivation for using sunshine hours and another related variables to estimate them. This data series measured over long periods also could allow to investigate the likely climatic consequences of variations related to Climate Change. In this paper we are presenting the results of the statistical analysis of time series of annual mean values of solar irradiation, sunshine hours, cloudiness, thermal amplitude and precipitation done in Paraná, Argentina, through the application of Mann-Kendall rank test, discussing the results.

Key words: solar radiation, time series, trends, Climatic Change.