

## **ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LA RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA Y LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL EN SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

R. Righini y H. Grossi Gallegos\*

GERSolar, División Física, Departamento Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Rutas 5 y 7, (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina – Tel. (54-2323) 440241 o 423171 int. 270  
E-mail: righini@mail.unlu.edu.ar

**RESUMEN:** En un artículo anterior se presentaron las primeras mediciones de la radiación fotosintéticamente activa en San Miguel, Provincia de Buenos Aires, en el que se procesaron 26 días. En el presente trabajo se analizan las relaciones entre la irradiación global y la irradiación fotosintéticamente activa (PAR) medida indirectamente con piranómetros, considerando 280 días de un registro de 11 meses. La correlación entre ambas es establecida empleando integrales diarias y horarias, analizando asimismo posibles variaciones estacionales y dependencia con el índice de claridad, considerando los errores cometidos de origen estadístico e instrumental. Como consecuencia de ello, se recomienda el uso del factor 0.49 dado que la incerteza introducida impide cualquier otra conclusión.

**Palabras clave:** Radiación fotosintéticamente activa, medición indirecta, radiación global, correlación.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La radiación fotosintéticamente (PAR) activa es la región del espectro solar cuya longitud de onda está comprendida entre 0.40 y 0.70  $\mu\text{m}$ . Los valores del PAR son importantes como parámetro de entrada de energía en diversos procesos biológicos y su evaluación temporal tiene particular interés en el seguimiento del crecimiento de cultivos. Debido a que las plantas realizan fotosíntesis y que el PAR es su fuente de energía, conocer la distribución espacial y temporal del mismo es fundamental para el análisis de los procesos biológicos asociados (Grossi Gallegos, 2003 y 2004).

Para la medición directa del PAR existen actualmente sensores desarrollados a tal efecto, como el LI-190SA fabricado por LI-COR, y el PAR Lite, de la empresa KIPP & ZONEN. En ambos casos se utiliza como sensor un fotodiodo de silicio al que se modifica su respuesta y se le agrega un filtro para proporcionar una respuesta “cuántica” en el rango de longitudes de onda que van de 0.40 a 0.70  $\mu\text{m}$ .

Sin embargo, es poco frecuente contar con medidores de PAR. Es mucho más habitual disponer de piranómetros capaces de medir radiación solar global. En estos casos, usando dos piranómetros, uno de ellos cubierto con un filtro que deje pasar únicamente aquella radiación que se encuentre en el rango infrarrojo del espectro electromagnético ( $\lambda > 0,7 \mu\text{m}$ ), puede obtenerse el PAR haciendo la diferencia entre la medición del equipo sin filtro (radiación solar global) y el equipo con filtro (radiación solar en el rango infrarrojo).

Usando esa metodología, Blackburn y Proctor (1983) midieron la irradiación solar global en base horaria sobre un cultivo de manzanas a lo largo de 186 días. Los valores de PAR, obtenidos por diferencia, fueron correlacionados con los valores de irradiación solar global, obteniéndose una correlación lineal con la irradiación solar global, con una recta de pendiente 0.47 y un coeficiente de correlación  $R = 0.99$ .

En un artículo anterior se presentaron las primeras mediciones de la radiación fotosintéticamente activa en San Miguel (Grossi Gallegos *et al.*, 2004). Por otra parte, Tiba y Leal (2004) consideraron en Recife, Brasil, la relación entre valores de PAR obtenidos cada minuto a lo largo de un año con un sensor cuántico comercial y la irradiación solar global, observando variaciones que adjudicaron a probables cambios en la humedad del aire.

Sin embargo, en ninguno de los artículos citados se tuvieron en cuenta los errores cometidos al evaluar las constantes. El presente trabajo analiza la correlación entre el PAR y la radiación solar global, y estima los errores cometidos empleando integrales realizadas cada diez minutos durante 280 días a lo largo de un año de mediciones.

### **2. MATERIALES Y METODO**

El dispositivo instalado en San Miguel consiste en un piranómetro Eppley (Precision Spectral Pyranometer) No. 18670, un piranómetro similar PSP No. 10566, al que se le colocó un filtro hemisférico RG695 (utilizado para medir la radiación solar más allá de los 0.7  $\mu\text{m}$ , esto es, el infrarrojo cercano), conectados a un sistema automático de adquisición de datos Campbell

---

\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

CR10X, que interroga los instrumentos cada segundo y guarda el total integrado cada 10 minutos; de la diferencia de los dos piranómetros se obtiene el valor de la radiación fotosintéticamente activa registrada cada 10 minutos, medida en  $\text{MJ}/\text{m}^2$ . Los sensores utilizados fueron calibrados previamente con un pirheliómetro absoluto TMI Mk VI No. 67605, contrastado contra el patrón regional del S.M.N., el pirheliómetro de cavidad autocalibrable Eppley modelo AHF No. 30712. El filtro utilizado fue caracterizado en el INTI por el Grupo de Energía Solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica. El valor medio de la transmitancia para longitudes de onda valores mayores que  $0.7 \mu\text{m}$  es de 92%, con una pendiente de  $0.6\%/ \mu\text{m}$ .

### 3. RESULTADOS

La información que se presenta corresponde a un período de 280 días, que se extiende desde el 8 de junio de 2004 al 22 de mayo de 2005. Se calcularon las diferencias entre los datos diarios de irradiación global medidos sin y con la cúpula filtrante, corrigiéndolos por la transmitancia del filtro y obteniéndose así los valores horarios de radiación recibida en el rango  $0.4$  a  $0.7 \mu\text{m}$ , esto es, la fracción PAR.

Fueron analizadas las correlaciones existentes entre el PAR y la radiación solar global (valores horarios) en función de la cobertura de nubes. Para ello, se dividieron los datos en tres categorías en función del índice de claridad  $K_T$ . Se consideró como condición de cielo descubierto un  $K_T > 0,6$ , el cielo cubierto estuvo caracterizado por  $K_T < 0,3$  y el resto de los casos quedaron comprendidos en el intervalo intermedio. La incerteza en la determinación de las pendientes impide distinguir variaciones debido a la diferente cobertura de nubes. En este análisis de todos los datos separados en función del  $K_T$ , el PAR representa un porcentaje de la radiación solar global que fluctúa entre el 48.4% y el 52%, tal como se muestra en las Figuras 1, 2, 3 y 4.

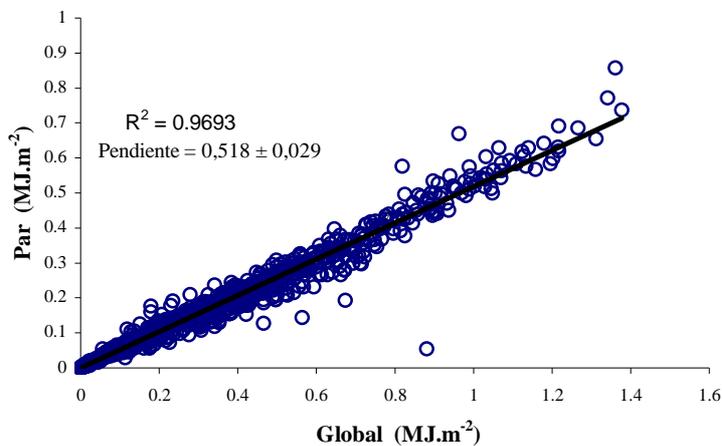


Figura 1. Valores horarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global para  $K_T < 0.3$ .

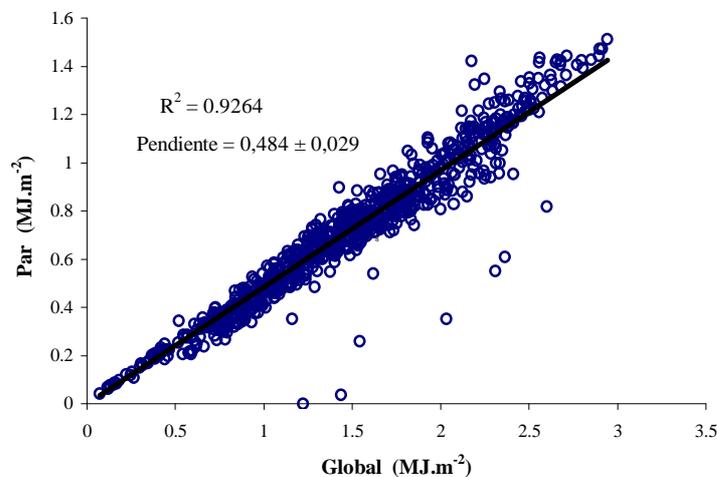


Figura 2. Valores horarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global para  $0,3 < K_T < 0.6$ .

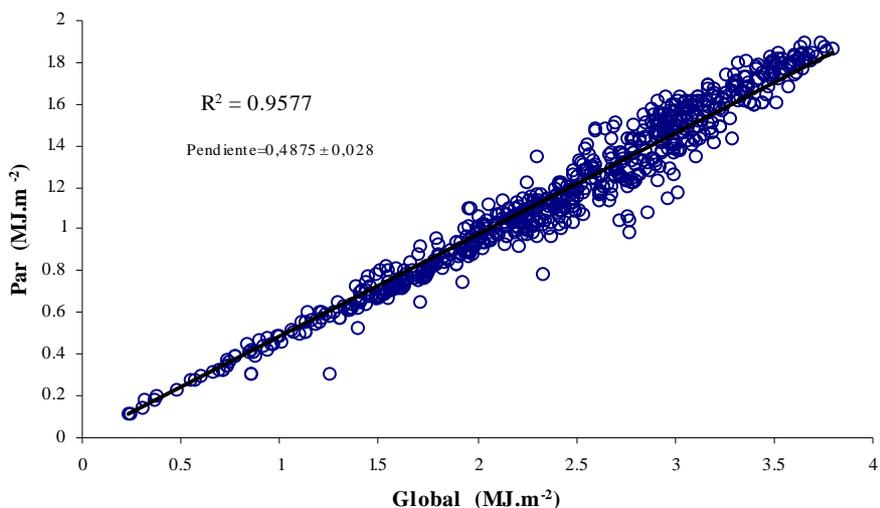


Figura 3. Valores horarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global para  $K_T > 0,6$

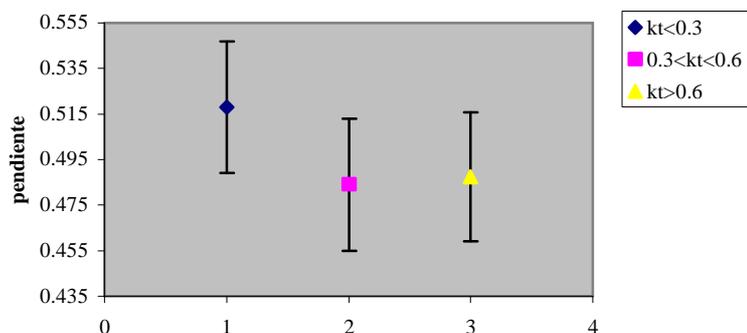


Figura 4. Valores de las pendientes y sus errores calculadas para los diferentes valores de  $K_T$ .

Con el objetivo de considerar posibles variaciones estacionales en los valores de la correlación entre el PAR y la irradiación global, se analizaron valores diarios en tres períodos caracterizados por la declinación solar. Así se analizaron datos de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, asociados al solsticio de verano, Mayo, Junio, Julio y Agosto, al solsticio de invierno, y Marzo, Abril, Septiembre y Octubre, a los equinoccios. Dentro de los mismos períodos se volvió a realizar un análisis por separado de los datos en función del  $K_T$ . En todos los casos se encontró que las diferencias aparentes entre las pendientes carecían de significado cuando se consideraban los errores de medición y de tratamiento estadístico

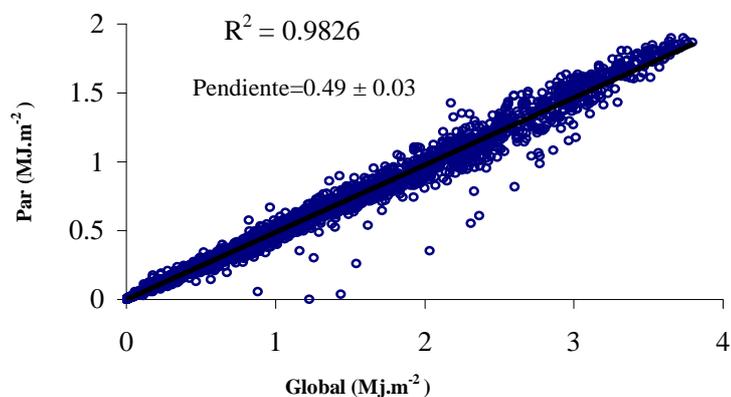


Figura 5. Valores horarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global.

Para terminar, en base a los resultados anteriores, parece ser razonable considerar la relación entre el PAR y la radiación solar global como una relación lineal. En ese caso la radiación PAR es un porcentaje de la global. El valor de ese porcentaje no puede ser discriminado (dentro de los valores de error que tienen las mediciones por nosotros realizadas) en función de la cobertura de nubes ni de la época del año considerada. Se justifica así estimar la correlación entre PAR y global con todos los datos horarios analizados. Los resultados de esta correlación entre todos los datos pueden verse en la figura 5.

#### 4. CONCLUSIONES

En base a los resultados anteriores, parece razonable considerar la relación entre el PAR y la radiación solar global como lineal. La dependencia del valor de esa fracción en función de la cobertura de nubes y de la época del año considerada no pudo ser discriminada (dentro de los límites de error que tienen las mediciones realizadas), si bien puede ser razonable pensar en una dependencia de la masa de aire atravesada y su contenido de vapor de agua.

Por lo tanto se concluye, que con el nivel de error que fueron realizadas las mediciones (un 5%, considerando el error de medición de los equipos, los errores asociados a la calibración de los mismos y al tratamiento estadístico de los datos), el PAR representa un  $(49 \pm 3)$  % de la radiación global.

#### REFERENCIAS

- Blackburn W. J and Proctor T. A. (1983) Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance, *Solar Energy*, **31** (2), 233-234.
- Grossi Gallegos, H. (2003) Estimación de la distribución espacial en Argentina de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR). En *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, vol.1, pp. 543-544, Santa María, RS, Brasil.
- Grossi Gallegos (2004) Distribución espacial de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en Argentina. *Meteorológica* **29** (1 y 2), 27-36.
- Grossi Gallegos, H., Righini R. y Dursi. O. (2004) Primeras mediciones de la Radiación Fotosintéticamente Activa en San Miguel, Provincia de Buenos Aires. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **8** (2), versión CD ROM.
- Tiba, C. e Leal, S. (2004) Medidas e modelagem da radiação PAR para o Nordeste do Brasil. *Anais do AGRENER 2004 (versão CD-ROM)* – V Encontro de Energias no Meio Rural, Campinas, San Pablo, Brasil.

### ANALYSIS OF THE CORRELATION BETWEEN OF PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION AND SOLAR GLOBAL RADIATION IN SAN MIGUEL, BUENOS AIRES

R. Righini y H. Grossi Gallegos

**ABSTRACT** – In a previous paper first measurements of photosynthetically active radiation in San Miguel were presented. In this paper, the correlation between indirect measurements of PAR and solar global irradiation, resulting from values obtained along 280 days, are presented. Using daily and hourly integrals that correlation is established and its dependence on clearness index and possible seasonal variations are analyzed taking into account statistical and instrumental errors. The use of 0.49 like the factor is so recommended because uncertainty prevents any other conclusion.

**KEY WORDS:** photosynthetically active radiation, indirect measurement, solar radiation, correlation.