

## **PRIMERAS MEDICIONES DE LA RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

H. Grossi Gallegos <sup>(1)\*</sup>, R. Righini <sup>(1)</sup>, O. Dursi <sup>(2)\*\*</sup>

<sup>(1)</sup> GERSolar, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Rutas 5 y 7, (6700) Luján, Buenos Aires, ARGENTINA, Tel.: (54-2323) 423171, E-mail: grossi@mail.unlu.edu.ar

<sup>(2)</sup> Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional, Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires, ARGENTINA  
Telefax: (54-11) 4455 6762, E-mail: grossi@postmast.edu.ar

**RESUMEN:** Una de las informaciones requeridas a menudo para estudiar el balance energético o el crecimiento de un cultivo particular es la radiación solar. Si bien puede disponerse en general del dato de irradiación global (medida o estimada), no es frecuente contar con valores de radiación fotosintéticamente activa (PAR). Teniendo en cuenta la relación determinada entre esta última y la global que se encuentra en la bibliografía, se presentan en este trabajo los primeros resultados obtenidos en la medición indirecta (con piranómetros) analizando su dependencia con el índice de claridad.

**Palabras clave:** Radiación fotosintéticamente activa, medición indirecta.

### **INTRODUCCIÓN**

Una de las informaciones requeridas a menudo para estudiar el balance energético o el crecimiento de un cultivo particular es la radiación solar. Si bien puede disponerse en general del dato de irradiación global (medida o estimada), no es frecuente contar con valores de radiación fotosintéticamente activa (PAR), la que puede ser definida como la región del espectro solar comprendida entre 0.40 y 0.70  $\mu\text{m}$ , si bien los autores rusos la definen por el dominio 0.38-0.71  $\mu\text{m}$  (Guyot, 1992).

Monteith (1973) sugirió que, para propósitos prácticos, el contenido energético de radiación solar fotosintéticamente útil puede ser considerado como el 50% de la global, si bien otros trabajos apuntan a un valor algo menor. Teniendo en cuenta que es más habitual disponer de información proveniente de sensores que miden la radiación global (piranómetros) que de los que específicamente detectan el PAR, se han realizado trabajos experimentales orientados a determinar esta fracción, como los de Szeicz (1974), Suckling *et al.* (1975) y Blackburn y Proctor (1983).

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  $\mu\text{m}$ . El flujo registrado se mide en micromoles de fotones - o micro Einteins - por metro cuadrado y por segundo, definido como:

$$1 \text{ E} = N_A \cdot h \cdot f = 1 \text{ mol de fotones}$$

en donde  $N_A = 6.023 \times 10^{23}$  es el número de Avogadro,  $h = 6.625 \times 10^{-34}$  la constante de Planck y  $f$  la frecuencia, lo que evidencia que la energía asociada a esta unidad depende de la frecuencia de la radiación considerada a través de la relación  $1 \text{ E} = 3.99 \times 10^{-10} f$  (J.s).

Blackburn y Proctor midieron la irradiación solar global en base horaria sobre un cultivo de manzanas a lo largo de 186 días con un piranómetro termoléctrico Eppley PSP mientras que con un segundo equipo similar, cubierto con un filtro hemisférico RG695, midieron la irradiación solar correspondiente al infrarrojo cercano. Los valores de PAR fueron obtenidos luego por diferencia entre los dos registros (debe hacerse notar que la sensibilidad de los piranómetros utilizados es plana y se extiende de 0.3 a 3.0  $\mu\text{m}$ , si bien el aporte solar por debajo de los 0.4  $\mu\text{m}$  puede despreciarse en comparación con el resto). La relación hallada para los valores diarios ajusta ( $r = 0.99$ ) a una recta de pendiente 0.47, si bien para valores horarios se observó que la proporción de PAR podía variar entre 0.44 y 0.58 con la cobertura de nubes y la época del año.

### **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) y un sensor PAR Lite No. 30378, de Kipp & Zonen, conectados a un

\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

\*\* Miembro de la Carrera del Personal de Apoyo del CONICET

sistema automático de adquisición de datos Campbell 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  $J/m^2$ . Los piranómetros utilizados fueron calibrados previamente con un pirheliómetro absoluto TMI Mk VI No. 67605, contrastado los días 3, 4 y 8 de marzo de 2004 contra el patrón regional del SMN, el pirheliómetro de cavidad autocalibrable Eppley modelo AHF No. 30712; tanto los piranómetros utilizados cuanto la estación automática pertenecen a la Asociación Civil Observatorio San Miguel (ACOSM), mientras que el sensor PAR Lite es de propiedad de la Universidad Nacional de Luján (UNLu).

## RESULTADOS

El filtro utilizado fue caracterizado en el INTI por el Grupo de Energía Solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Los resultados obtenidos pueden observarse en la Figura 1. Dejando de lado el ruido de la fuente, el valor medio de la transmitancia para longitudes de onda valores mayores que  $0.7 \mu m$  es de 92%, con una pendiente de  $0.6\%/ \mu m$ .

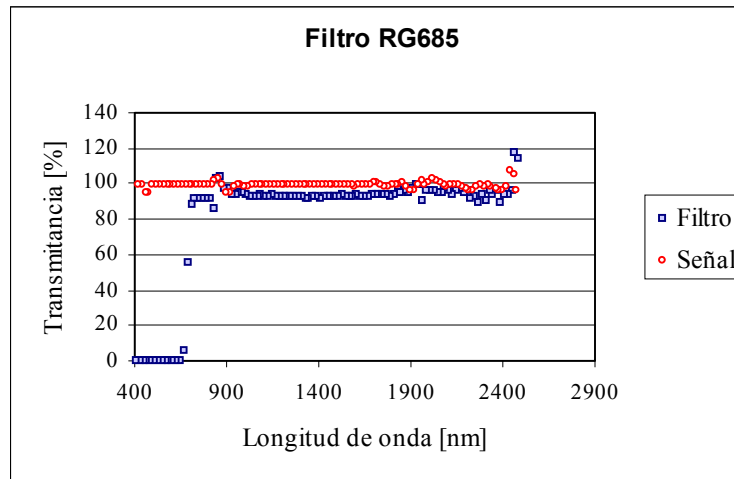


Figura 1. Transmitancia espectral del filtro RG695 utilizado.

La información preliminar que se presenta corresponde a un período de 26 días, que se extiende desde el 8 de junio al 27 de julio (aeromasas mayores que 1.68). 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  $0.7 \mu m$ ,  $H_{PAR}^d$ . Para eliminar la tendencia estacional en futuras mediciones, los datos horarios de irradiación global  $H^d$  fueron normalizados dividiéndolos por la correspondiente irradiación diaria a tope de atmósfera  $H_o^d$ , calculando así el índice diario de claridad  $K_T^d$ . Tratamiento similar se le dio a los datos diarios de radiación fotosintéticamente activa al dividirlos por la correspondiente irradiación incidente a tope de atmósfera en ese intervalo de longitudes de onda,  $H_{o, PAR}^d$ , y obtener el correspondiente índice diario de claridad para el PAR, al que se denota como  $K_{PAR}^d$ . Las irradiancias consideradas como referencia fuera de la atmósfera terrestre (Gueymard, 2004) fueron  $I_o = 1366.1 W/m^2$  y  $I_{o, PAR} = 536 W/m^2$  (esto es, 39.2 % de la "constante solar"). En la Figura 2 se muestran los resultados de la correlación establecida entre los dos índices.

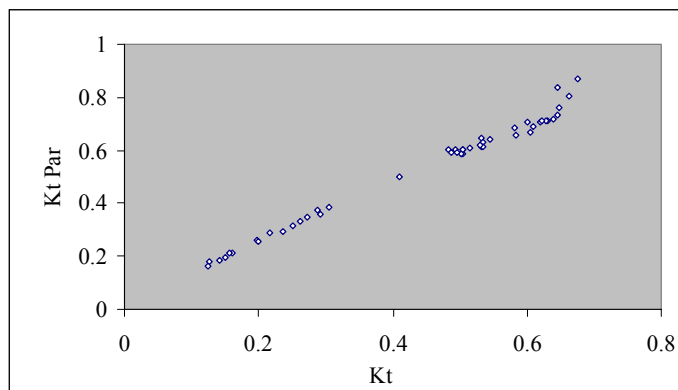


Figura 2. Índice diario de claridad para la irradiación PAR en función del índice diario de la global.

Trabajando en base horaria se puede obtener una correlación similar entre  $K_T^h$  y  $K_{PAR}^h$ , como se muestra en la Figura 3.

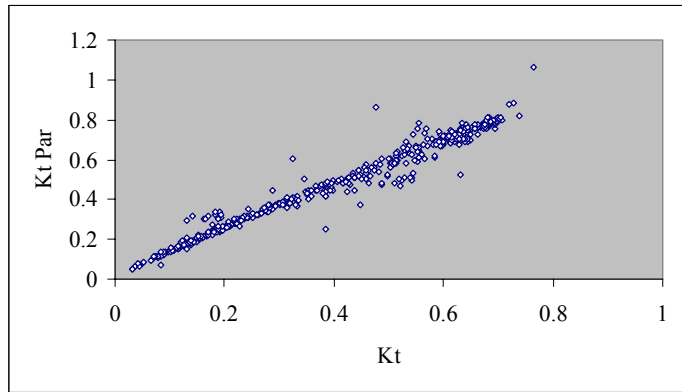


Figura 3. Índice horario de claridad para la irradiación PAR en función del índice horario de la global.

En la figura 4 se grafican los valores de las integrales diarias de radiación para el PAR en función de las de la radiación solar global a nivel de superficie.

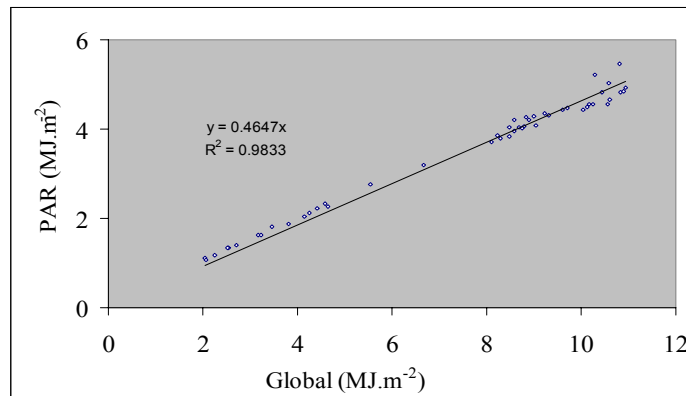


Figura 4. Valores diarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global.

Se observa aquí que se puede establecer una correlación lineal razonable entre ambas variables. La pendiente es aproximadamente 0.46, lo que indica que la integral diaria de la radiación del PAR representa un 46 % de la global para los días considerados. Este resultado es coincidente con el de Blackburn y Proctor (1983), quienes establecieron un valor de 0.47 para la pendiente, considerando una experiencia llevada a cabo a lo largo de 186 días.

Se estableció la misma correlación para los valores horarios de las integrales de la radiación del PAR y de la global, obteniéndose un gráfico como el que muestra la Figura 5; allí la pendiente de la recta de ajuste es de 0.46, repitiéndose la relación obtenida para valores diarios.

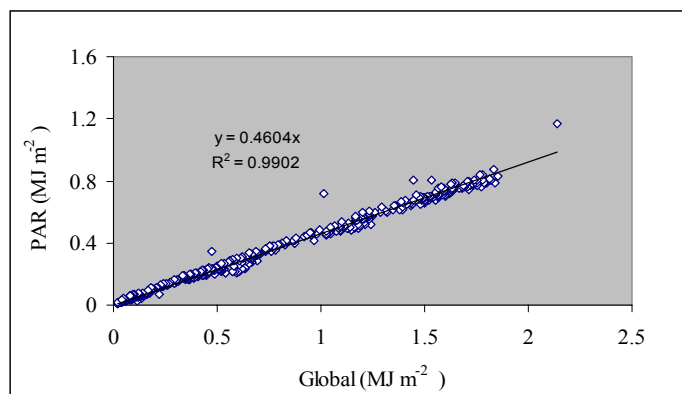


Figura 5. Valores horarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global.

Con el objetivo de analizar una posible dependencia de la pendiente con la cobertura de nubes se separaron los datos obtenidos en función del  $K_t$  horario, dividiéndolos en tres categorías: cielo despejado ( $K_t \geq 0.6$ ), cielo cubierto ( $K_t \leq 0.3$ ) y cielo parcialmente cubierto ( $0.3 < K_t < 0.6$ ). En las Figuras 6, 7 y 8 se presentan los resultados obtenidos para las tres categorías.

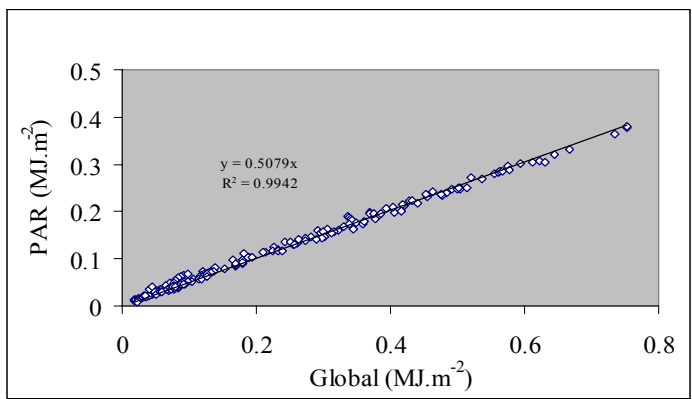


Figura 6. Valores horarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global para  $K_t \leq 0.3$ .

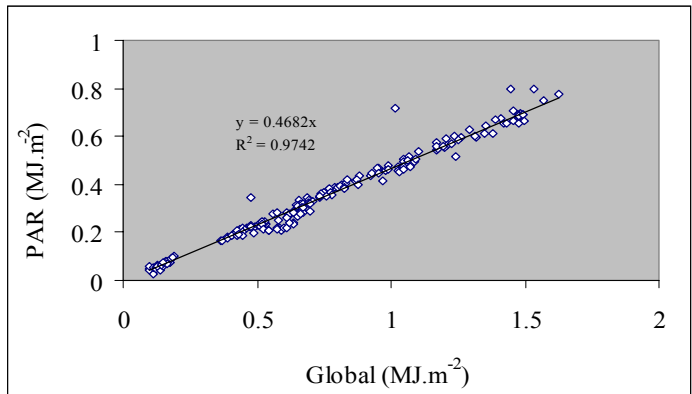


Figura 7. Valores horarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global para  $0.3 < K_t < 0.6$ .

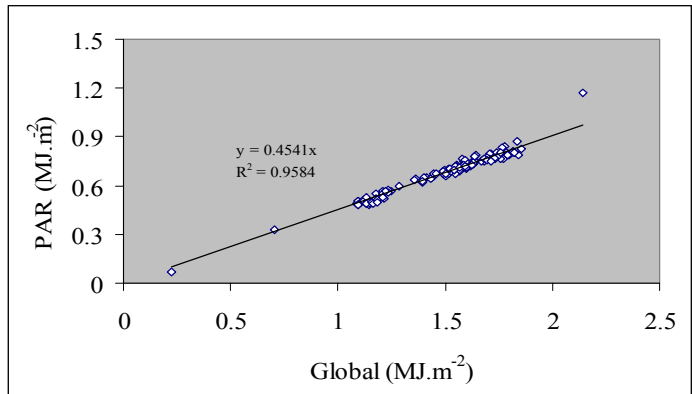


Figura 8. Valores horarios de la irradiación PAR en función de la irradiación global para  $K_t \geq 0.6$ .

Se puede observar que las pendientes de las rectas de correlación (que representan el PAR como un porcentaje de la radiación global) van disminuyendo a medida que el  $K_t$  aumenta.

## DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos, puede verse que se verifica una relación lineal entre los índices de claridad  $K_t$  y  $K_{PAR}$ . También existe una buena correlación lineal entre los valores diarios de irradiación PAR y los de irradiación global; esta correlación se mantiene cuando se trabaja con valores horarios de irradiación PAR e irradiación global. En ambos casos, el PAR es un 46 % de la irradiación solar Global, resultado que está de acuerdo con el obtenido por Blackburn y Proctor (1983).

Cuando se correlacionaron valores horarios de irradiación PAR y de irradiación global discriminando en función del índice de claridad, se encontró que la fracción de PAR alcanza un 51 % para condiciones de cielo nublado, un 47% en cielos parcialmente nublados, y un 45 % en condiciones de cielo despejado, lo que se ajusta a los valores obtenidos en el trabajo anteriormente citado, si bien en él los autores sólo lo mostraron para cuatro días (dos de verano y dos de invierno). Esto evidencia que la composición espectral de la irradiación solar a nivel de superficie presenta diferencias en función de la cobertura del cielo

## CONCLUSIONES

Las correlaciones lineales halladas entre valores diarios y horarios de irradiación PAR e irradiación global permiten calcular la energía fotosintéticamente activa en función de los valores de irradiación global, facilitando a ecólogos, fisiólogos y agrónomos contar con esta importante información estimada a partir de los datos obtenidos por piranómetros convencionales sin necesidad de contar con un equipo específico de medición del PAR, tal como lo mostrara de manera preliminar Grossi Gallegos (2003) basándose en las conclusiones del trabajo de Blackburn y Proctor.

Esta experiencia se continuará hasta completar un año con el objetivo de obtener datos correspondientes a diferentes alturas solares y niveles energéticos, incluyéndose también el análisis del comportamiento comparativo del sensor PAR Lite y la relación de las integrales expresadas en las dos unidades habitualmente utilizados para medir este tipo de radiación recibida por unidad de superficie: en micromoles de fotones - o micro Einteins – o en megajoule por metro cuadrado.

## AGRADECIMIENTO

Los autores quieren agradecer a Julio Durán y Juan Plá, del Grupo Energía Solar del Departamento de Física de la Comisión Nacional de Energía Atómica, por el medición de la transmitancia del filtro utilizado para la medición indirecta del PAR.

Este trabajo se realizó dentro del Convenio Marco de Cooperación firmado entre la Universidad Nacional de Luján (UNLu) y la Asociación Civil Observatorio San Miguel (ACOSM).

## REFERENCIAS

- Blackburn W.J. and Proctor J.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). Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, vol.1, pp. 543-544, Santa María, RS, Brasil.
- Gueymard C. A. (2004) The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and sola radiation models. *Solar Energy* **76**: 423-453.
- Guyot G. (1992) Cours de Bioclimatologie. Chapitre: I, Le Rayonnement. Ecole Nationale Superieure Agronomique de Montpellier, France.
- Larcher W. (1977) Ecofisiología vegetal. Ediciones Omega, Barcelona, España.
- McCree K. J. (1973) The measurement of photosynthetically active radiation. *Solar Energy* **15**:83-87.
- Monteith J.L. (1973) Principles of Environmental Physics. Arnold, London.
- Suckling P.W., Davies J.A. and Proctor J.T.A. (1975) The transmission of global and photosynthetically active radiation within a dwarf apple orchard. *Can. J. Bot.* **53**: 1428-1441.
- Szceiz G. (1974) Solar radiation for plant growth. *J. Appl. Ecol.* **11**: 617-636.

## FIRST MEASUREMENTS OF PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION (PAR) IN SAN MIGUEL, BUENOS AIRES

H. Grossi Gallegos, R. Righini, O.Dursi

**ABSTRACT** –Solar radiation is information often required for studying the energy balance or the growth of a specific crop. Although in general it is possible to have measured or estimated global irradiation data, information of photosynthetically active radiation (PAR) is not always available. Taking into account an empirical relationship established between daily totals of PAR and global solar radiation, first results obtained in the indirect (with pyranometers) and direct (with a modified photovoltaic sensor) measurements of PAR are presented and compared, and its dependence on clearness index is analyzed.

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