



## COMPORTAMIENTO DE UN RADIÓMETRO PAR FABRICADO POR CNEA RESPECTO A UN RADIÓMETRO PAR COMERCIAL KIPP & ZONEN

R. Righini<sup>1,2</sup>, H. Grossi Gallegos<sup>1,2</sup>,  
C.G. Bolzi<sup>4</sup>, M.G. Martínez Bogado<sup>3,4</sup>, M.J.L. Tamasi<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Estudios de la Radiación Solar - Universidad Nacional de Luján

<sup>2</sup> Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable - Universidad Nacional de Luján

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET

<sup>4</sup> Grupo Energía Solar, Gerencia de Investigación y Aplicaciones, Centro Atómico Constituyentes - CNEA  
Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Rutas 5 y 7 (6700) Luján,  
Buenos Aires, Argentina, Tel.: (54-2323) 440241, E-mail: gersolar@yahoo.com.ar

**RESUMEN:** Se estudia el comportamiento de un radiómetro PAR fabricado por el Grupo de Energía Solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) frente a un radiómetro PAR comercial de la firma Kipp & Zonen. Se analizan las integrales diarias, horarias y cada diez minutos. Tras 215 días de medición se concluye que el desempeño del equipo de CNEA es comparable al comercial, mostrando una excelente estabilidad en su constante de calibración durante todo el período analizado.

**Palabras Clave:** Radiación fotosintéticamente activa, CNEA, Kipp & Zonen

### INTRODUCCIÓN

La radiación fotosintéticamente activa (PAR), es un parámetro de importancia relacionado con la porción de la radiación solar global que es aprovechada por las plantas para sus procesos. Definida como la porción del espectro electromagnético comprendida entre 400 nm y 700 nm, su importancia es clave en la comprensión de diversos procesos biológicos. En esa banda del espectro hay una importante absorción de luz por la clorofila de las plantas, presentándose en ciertas sub regiones importantes efectos morfogénéticos y ontogénéticos (Larcher, 1977). También la medición del PAR puede ser de importancia para estimar el crecimiento de cultivos (Magrin *et al.*, 1991).

Desde el año 1998 la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), a través del Grupo Energía Solar (GES) del Centro Atómico Constituyentes, ha emprendido la fabricación de radiómetros fotovoltaicos de bajo costo, tanto para la medición de la radiación solar global, como para el PAR (Bolzi *et al.*, 2008).

Los radiómetros PAR de CNEA emplean como elemento sensor una celda fotovoltaica de silicio fabricadas por el Grupo Energía Solar de la CNEA y la radiación solar incidente en el equipo es interceptada por un filtro comercial, cuya transmitancia espectral es mostrada en la figura 1.

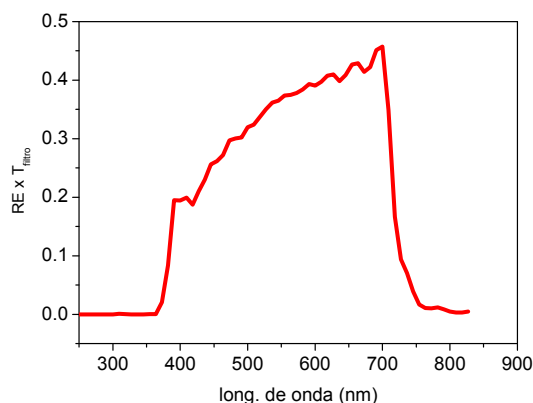


Figura 1. Transmitancia en función de la longitud de onda del filtro empleado en un radiómetro PAR de CNEA.

## CONSTRUCCIÓN DE LOS RADIÓMETROS

Se construyeron prototipos de radiómetros PAR (Figura 2) que constan fundamentalmente de una base de aluminio y una cubierta de vidrio esmerilado. El elemento sensor propiamente dicho es básicamente una celda solar diseñada para esta función con un área activa de  $0,13 \text{ cm}^2$  a la que se le adhirió un filtro comercial utilizando el mismo adhesivo ya probado en los polarímetros fotovoltaicos desarrollados en la CNEA (Bolzi *et al.* 2002). El filtro fue cortado de manera que cubra sólo las dimensiones activas del sensor y de esta manera minimizar la superficie del filtro a utilizar. Sobre el filtro, se colocó un vidrio esmerilado para la protección y aislación del conjunto. Debido a esto y a diferencia de los solarímetros fotovoltaicos ya fabricados, el sensor se encuentra unos milímetros por debajo de la superficie de la cubierta de vidrio.

La salida eléctrica de los mismos ronda los 12 mV y constan de dos cables que salen lateralmente de la base de aluminio para su conexionado a un sistema de adquisición de datos o directamente a un multímetro.



Figura 2. Radiómetro PAR desarrollado en el Grupo Energía Solar de la CNEA

## MATERIALES Y MÉTODO

El radiómetro de CNEA fue calibrado contra un sensor PAR Kipp & Zonen. Para asegurar que este último no haya visto modificada su propia constante de medición durante el período en que se realizó el estudio, se analizó su comportamiento comparando la correlación entre sus integrales diarias y las integrales diarias de radiación solar global medidas con un piranómetro CIMEL CE 180. Dado que las integrales diarias de radiación PAR se relacionan linealmente con las integrales diarias de radiación solar global (Righini *et al.*, 2005), la persistencia de la pendiente de la recta de correlación entre ambas es indicativa de la estabilidad de la constante propia del sensor PAR.

El piranómetro CIMEL CE 180 es calibrado periódicamente mediante el método de tapado/destapado contra un pirheliómetro absoluto TMI Mk VI N° 67605 patrón del Grupo de Estudios de la Radiación Solar (GERSolar).

Las mediciones realizadas sobre ambos equipos PAR abarcaron un total de 215 días de los años 2008 y 2009, realizadas en la estación de medición de radiación solar del grupo GERSolar en la Universidad Nacional de Luján. Un sistema automático de adquisición de datos Campbell CR10X mide los voltajes provenientes de los sensores una vez por segundo, almacenando las integrales de las señales cada diez minutos.

## RESULTADOS

En primer lugar se muestran las correlaciones existentes entre las integrales diarias del sensor PAR Kipp & Zonen y el piranómetro CIMEL CE 180. Los datos analizados comprenden un total de 1180 días entre Marzo de 2006 y Agosto de 2009.

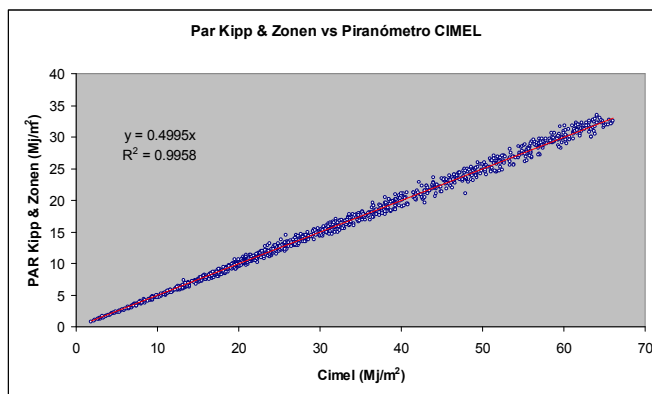


Figura 3. Integrales diarias del radiómetro PAR Kipp & Zonen versus el piranómetro CIMEL CE 180.

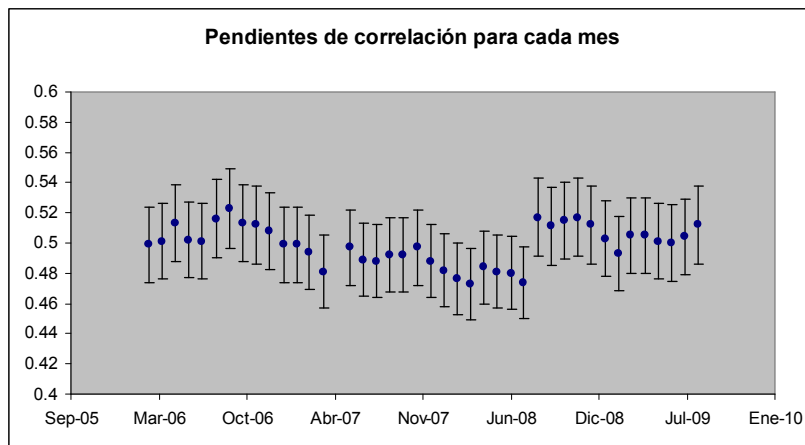


Figura 4. Constantes de la correlación entre las integrales diarias del radiómetro PAR Kipp & Zonen y el piranómetro CIMEL. Las barras de error muestran la incerteza del 5% propia del proceso de calibración.

En la figura 3 se muestra la correlación hallada para las integrales diarias durante todo el período. La figura 4 muestra las pendientes de las rectas de correlación calculadas mes a mes durante todo el período analizado.

Basándonos en lo anteriormente mostrado, puede concluirse que la correlación lineal entre las mediciones del PAR Kipp & Zonen y las del CIMEL se mantiene durante todo el período estudiado, observándose que la constante de calibración no experimenta variaciones importantes mes a mes, manteniendo su valor dentro del rango de error del 5% que el propio proceso de comparación lleva implícito.

Por lo tanto, en función de lo expuesto, es posible concluir que el radiómetro PAR Kipp & Zonen contra el cual se calibró el sensor de CNEA ha mantenido su constante de calibración estable durante el período analizado.

Seguidamente se muestran en las figuras 5, 6 y 7 las correlaciones entre las integrales del sensor PAR de CNEA y el PAR Kipp & Zonen, calculadas en forma diaria, horaria y cada diez minutos.

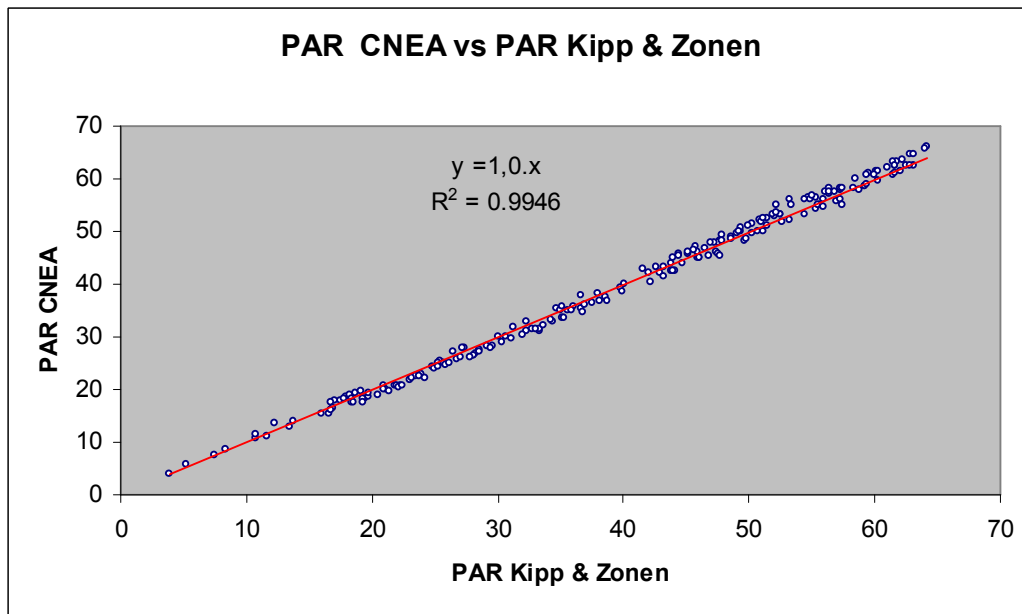


Figura 5. Integrales diarias del sensor PAR de CNEA y el PAR Kipp & Zonen. Las unidades son arbitrarias.

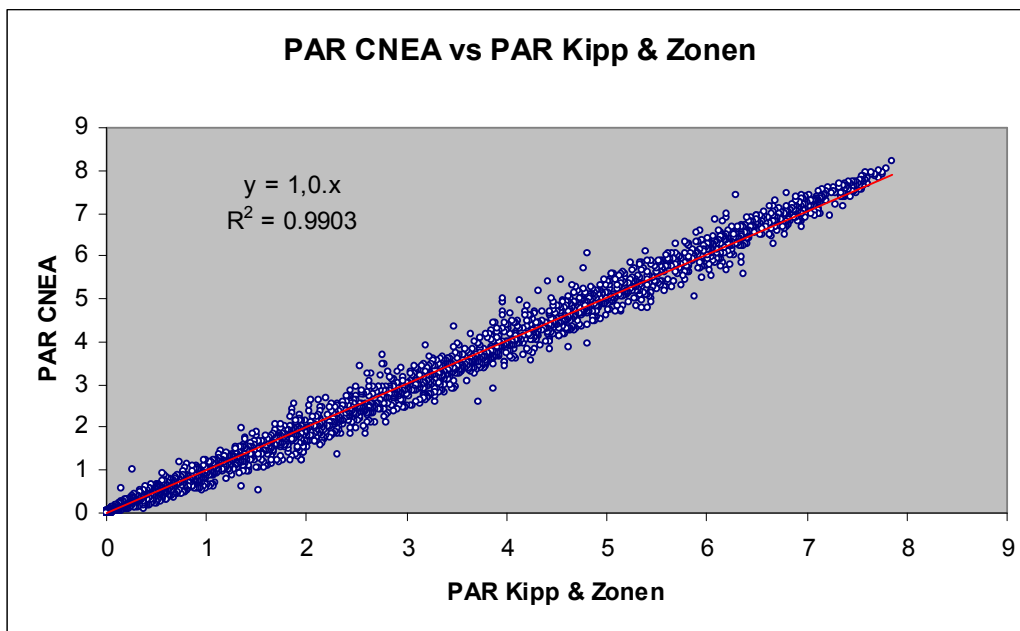


Figura 6. Integrales horarias del sensor PAR de CNEA y el PAR Kipp & Zonen. Las unidades son arbitrarias.

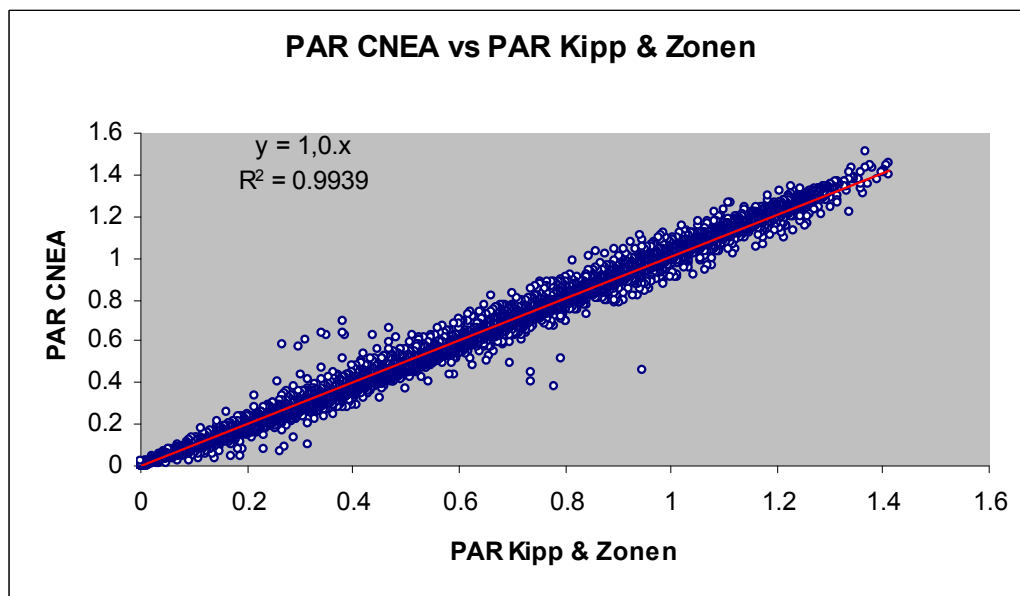


Figura 7. Integrales cada diez minutos del sensor PAR de CNEA y el PAR Kipp & Zonen. Las unidades son arbitrarias.

En la figura 8, puede verse que la muy buena correlación lineal existente entre ambos sensores se mantiene tanto para las integrales diarias, horarias o cada diez minutos. El valor de la constante de correlación permanece igual dentro del error de estimación de la misma, el cual es del 3%

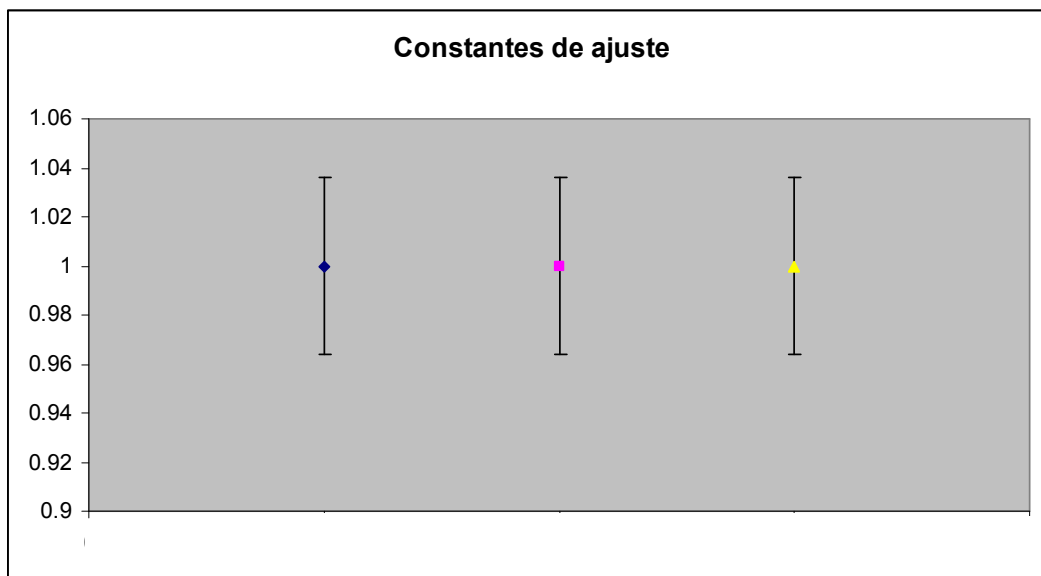


Figura 8. Constantes de la correlación lineal entre el sensor PAR de CNEA y el PAR Kipp & Zonen. Las barras muestran el error cometido en el cálculo de las mismas.

## CONCLUSIONES

Las comparaciones de las integrales tomadas diariamente, cada hora y cada diez minutos entre el sensor PAR de CNEA y el radiómetro PAR Kipp & Zonen muestran una correlación excelente durante todo el periodo de 215 días que fuera analizado. La propia estabilidad del equipo Kipp & Zonen, cotejada mediante la comparación de las integrales diarias con un piranómetro CIMEL, permite equiparar el funcionamiento del sensor de CNEA con el medidor de PAR comercial.

Las constantes de correlación calculadas para datos diarios, horarios y cada diez minutos son iguales, dentro del margen de error del 3% que su determinación conlleva. Por lo que puede concluirse que el sensor de CNEA posee un desempeño comparable a uno comercial, lo que lo constituye en una excelente alternativa de bajo costo para cuantificar una variable que es relevante en diversos procesos biológicos.

Debe tenerse en cuenta que debido a que el sensor se encuentra algunos milímetros más abajo que el vidrio cobertor, es probable que pueda tener alguna diferencia mayor para ángulos rasantes. Se prevé para el futuro remediar esto, además, está en estudio el uso de otros filtros comerciales y la posibilidad de desarrollar en la CNEA la construcción de dichos filtros.

## REFERENCIAS

- Bolzi C.G., Tamasi M.J.L., Martínez Bogado M.G., Plá J.C. (2002). Radiómetros fotovoltaicos de bajo costo desarrollados en la C.N.E.A.: prototipo comercial. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 6, 11.01-11.02
- Bolzi C.G., Martínez Bogado M. G., Tamasi M. J. L., Grossi Gallegos H., Righini R. (2008). Desarrollo de radiómetros fotovoltaicos de bajo costo en la CNEA. En *Actas del IX Congreso Panamericano de Iluminación Luxamérica 2008*, organizado por la Asociación Argentina de Luminotecnia, Rosario, Santa Fe, Argentina, Tomo I pp. III-38 a III-45.
- Larcher W. (1977). *Ecofisiología vegetal*. Ediciones Omega, Barcelona, España.
- Magrin G., Díaz R., Rebella C., Del Santo C. y Rodríguez R. (1991). Simulación del crecimiento y desarrollo de trigo en Argentina y la necesidad de información meteorológica de entrada. *Anales del CONGREGMET IV* pp. 49-50.
- Righini R. y Grossi Gallegos H. (2005). Análisis de la correlación entre la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar global en San Miguel, provincia de Buenos Aires. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, 11.01-11.04.

**ABSTRACT:** The behavior of a PAR radiometer made by CNEA is compared with a Kipp and Zonen commercial PAR radiometer. The integrals are analyzed daily, hourly and every ten minutes. After 215 days of measurement one concludes that the performance of the CNEA equipment is comparable, showing an excellent stability in his calibration constant during the whole analyzed period.

**Keywords:** Photosynthetically active radiation, CNEA, Kipp & Zonen.