

# FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE PIRANÓMETROS DE DISEÑO PROPIO

Serritella, D.A.<sup>1,2</sup>, Moltoni, A.F.<sup>3</sup>; Pacor, L.J.<sup>1</sup>; Blasón, A.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Agrometeorología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Ruta 4, Km. 2, Llavallol (1836), Argentina. <sup>2</sup>Instituto de Clima y Agua, CIRN, INTA Castelar. <sup>3</sup>Instituto de Ingeniería Rural, CIA, INTA Castelar.

\*Contacto: serritella.dante@inta.gob.ar

**Palabras clave:** irradiancia solar total; radiómetro fotovoltaico; fotodiodo; contraste.

## INTRODUCCIÓN

La irradiancia solar total (longitud de onda entre 300-3000 nanómetros) a nivel de la superficie terrestre, es la fuente de energía para el proceso fotosintético de las plantas (Denegri, et al., 2009). Sin embargo, es muy poca la proporción de la misma utilizada para dicho proceso, ya que existen pérdidas debidas a la reflexión desde los distintos órganos de la planta, a la transmisión a través de la canopia y al calentamiento por absorción (Righini y Grossi Gallegos, 2005).

Contar con un sistema de medición de los diferentes componentes de la radiación de onda corta distribuidos en los cultivos resulta de evidente importancia para su modelización y manejo (Vera et al., 2005). Los promisorios resultados obtenidos en el ensayo de un radiómetro de diseño propio (Moltoni *et al.*, 2018), motivaron la fabricación de nuevos instrumentos para aplicarlos a un sistema como el mencionado. El objetivo del presente trabajo es evaluar la confiabilidad de dichos radiómetros, obteniendo calibraciones general e individual de los sensores y determinando la variabilidad entre los mismos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se fabricó una versión mejorada del prototipo de sensor fotovoltaico desarrollado por Moltoni *et al.*, 2018, conformándolos por un cilindro de aluminio que contiene otro de polietileno virgen traslucido de alta densidad, torneado interiormente para que su extremo superior permanezca cerrado por un espesor de 3 mm del material que actúa como difusor de la radiación incidente brindando así una mejor respuesta coseno. El circuito integrado (sensor propiamente dicho) se dispuso dentro del mismo en contacto directo con dicha pared interna, conservando esto en todos por igual. Se realizó su ensayo en el Observatorio Agrometeorológico Principal de INTA Castelar (-34°36'19.71", -58°40'12.66") durante enero de 2020. Los sensores se montaron sobre un soporte horizontal a 2 metros de altura, corroborando que ningún objeto produzca sombra sobre los mismos en ningún momento del día (Figura 1). En el observatorio funciona una estación meteorológica automática (EMA), modelo Nimbus (Belloni et al., 2011), con un radiómetro termopílico Kipp & Zonen, modelo CMP3, que registra la irradiancia solar total. Dicho instrumento presenta exactitud y confiabilidad para ser utilizado como patrón de referencia para la calibración (Utrillas, *et al.*, 2018). Las lecturas de 8 radiómetros propios se almacenaron cada 10 minutos con un adquisidor digital (Moltoni *et al.*, 2008), y transfirieron a una PC para su procesamiento. La figura 2 presenta como ejemplo la gráfica de un día del ensayo con los datos así obtenidos. En tal proceso se comprobó que el sensor 2 sufrió su desconexión involuntaria, por lo que no fue tenido en cuenta para la calibración.

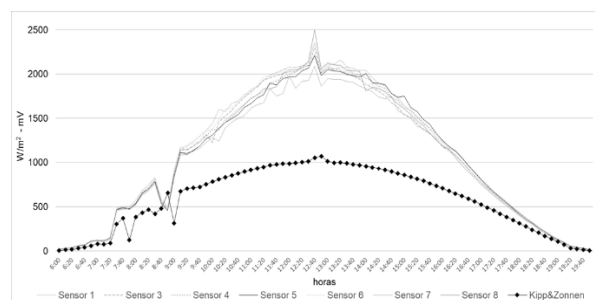
Se realizó en primera instancia un análisis de auto correlación temporal de los registros de los sensores propios. Luego se efectuó un análisis de varianza considerando un diseño en bloques completos aleatorizados, tomando las observaciones de las 6, 9, 12, 15 y 18 horas como bloques, para evaluar la respuesta de los sensores a distintas intensidades de radiación solar. A cada uno de los sensores fabricados se los tomó como tratamientos.

La calibración se efectuó mediante un análisis de regresión en el cual se utilizaron los datos del instrumento de referencia y el valor promedio obtenido de los sensores propios en cada registro.

Finalmente, la validación del modelo se realizó con datos registrados por los sensores fabricados, en un período posterior al ensayo, corrigiendo sus lecturas con la ecuación de calibración y posteriormente comparándolas con los datos registrados por el instrumento de referencia en el mismo período.



**Figura 1:** Instalación del ensayo (izq.) y detalle del montaje.



**Figura 2:** Registros del día 18/01/20 medido por los sensores Propios previa calibración (gris en mV) y radiómetro K&Z (punteado negro en W/m<sup>2</sup>).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La auto correlación temporal no resultó significativa entre observaciones más allá de 2 horas entre sí, lo que permitió realizar el análisis de varianza para determinar la variabilidad entre los sensores fabricados, tomando datos independientes cada tres horas entre las 06 y 18 horas del día.

**Variabilidad** El análisis de varianza arrojó un  $R^2_{Aj} = 1,00$  con un coeficiente de variabilidad de 3,78 y un p-valor  $< 0,0001$  para los bloques. Mientras que los tratamientos resultaron con un p-valor = 0,0216 obligando a detectar las diferencias entre sensores mediante un test de comparaciones múltiples (Tabla 1).

**Calibración** Los coeficientes resultantes para las calibraciones de cada sensor, como así también los del modelo general (promedio de sensores) son presentados en la Tabla 2. En la Figura 3 se presenta la dispersión de los valores que generaron la ecuación de calibración general, en donde puede observarse una reducida nube de puntos desalineados, producto de la distinta velocidad de respuesta entre el patrón y los sensores propios frente a fluctuaciones por nubosidad que producen desfases de los registros también observable en la Figura 2.

**Tabla 1:** Test de Tuckey.

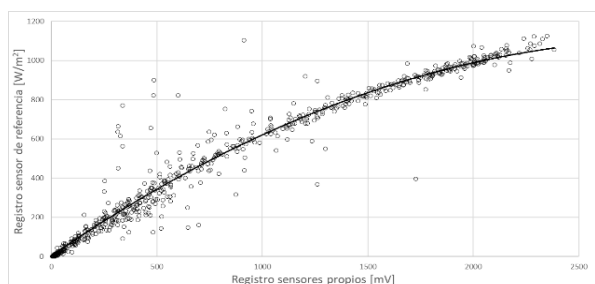
Sensor	Medias	n	Error standard	
7	792.28	5	14.16	A
8	826.68	5	14.16	AB
3	835.38	5	14.16	AB
5	842.98	5	14.16	AB
4	847.90	5	14.16	AB
6	852.38	5	14.16	AB
1	872.28	5	14.16	B

Medias con una letra en común, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). Nivel de significancia=0,05, diferencia mínima significativa=64,3, error:1002,5 grados de libertad: 24

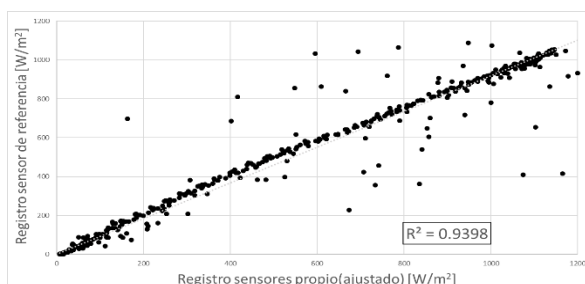
**Tabla 2:** Coeficientes de calibración ( $Y=aX^2+bx+c$ ) y Determinación.

Sensor	a	b	c	$R^2$
1	-0.0001	0.7052	6.9143	0.9500
3	-0.0001	0.7431	6.8714	0.9509
4	-0.0001	0.7238	5.8252	0.9522
5	-0.0001	0.7351	6.4209	0.9511
6	-0.0001	0.7288	7.2839	0.9508
7	-0.0001	0.7622	4.0214	0.9513
8	-0.0001	0.7740	5.6890	0.9515
General ( $\mu$ )	-0.0001	0.7411	3.6743	0.9515

**Validación** El ajuste resultó excelente a lo largo de todo el rango de medición explorado, corroborando estadísticamente que su pendiente no resultó distinta de 1 (uno) y la ordenada al origen distinta de 0 (cero), con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ . (Figura 4)



**Figura 3:** Ajuste entre el patrón y el promedio de los valores de los 7 sensores fabricados, por registro (modelo general).



**Figura 4:** Validación del modelo de calibración.

## CONCLUSIONES

Los piranómetros logrados resultan aptos para aplicaciones agrometeorológicas de detalle, corrigiendo sus registros con el modelo de calibración general. El procedimiento de calibración resulta confiable, rápido y fácil de implementar.

## REFERENCIAS

- Belloni, M.C.; D'Indio, M.; Rodríguez, R.O.; Fernández, N. R.; Moltoni, A.F.; Blasón, A.D. 2011. Desarrollo de un sistema de observación y análisis climático y ambiental. Diseño de estaciones agrometeorológicas automáticas Nimbus THP. Revista Rumbos Tecnológicos, Volumen 3, páginas 95 a 105.
- Denegri, M.J.; Righini, R.; Grossi Gallegos, H. 2009. Estudio comparativo del comportamiento de un sensor PAR desarrollado por VNEA. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.13, 2009. Argentina. ISSN03295184.
- Moltoni, A., Blasón, A.D., Fernández, N.R. y Rodríguez, R.O. 2008. Prestación, desempeño y confiabilidad de un sistema adquisidor de temperaturas de desarrollo propio. XII RADA, San Salvador de Jujuy, Argentina. CD-Trabajos, n° 073.
- Moltoni, A.F.; Serritella, D.A.; Pacor, L.J.; Blasón, A.D. 2018. Construcción y contraste de un radiómetro de diseño propio. XVII RADA, Villa de Merlo, San Luis, Argentina. Actas de reunión, páginas 88 y 89.
- 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, Vol. 9, 2005. Argentina. ISSN 0329-5184.
- Utrillas, M.P.; Marín, M.J.; Esteve, A.R.; Salazar, G.; Suarez, H.; Gandía, S.; Martínez-Lozano, J.A. Relación entre radiación ultravioleta eritematosa e irradiación solar de banda ancha a gran altura en el noroeste de Argentina. Revista Energía, Volumen 162 , 1 de noviembre de 2018, páginas 136-147 de noviembre de 2018 , páginas 136-147.
- Vera, L.H.; Busso, A.J.; Benitez, F. 2005. Desenvolvimiento de un sistema de radiación solar. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Resumen T-002.