

# RADIACIÓN SOLAR DIARIA A PARTIR DE UN MODELO DE ESTIMACIÓN Y DATOS DE SATÉLITE

Sofía Sibilía<sup>1</sup> y Silvina Sayago<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba (Argentina).

**Resumen.** Muchos de los procesos biológicos de los cultivos agrícolas requieren de la radiación solar. El registro de esta variable es escaso en comparación con la temperatura y la humedad y más aún en las zonas rurales. Los modelos empíricos junto con la información proveniente de las imágenes satelitales se constituyen en dos herramientas que permiten estimar la radiación solar. El objetivo de estudio fue evaluar y comparar la radiación solar registrada con aquella obtenida a partir de CERES y con la estimada por el modelo de Hargreaves-Samani, para la estación meteorológica de la EEA Manfredi del INTA. Los resultados mostraron que ambas estimaciones presentaron buenos ajustes, siendo la basada en datos de CERES superior a la obtenida por el modelo de temperatura. Se concluye que es posible emplear la radiación solar proveniente de CERES y la estimada con Hargreaves-Samani como sustitutos en caso de no poseer registros de esta variable.

**Palabras clave:** Radiación solar, CERES, Hargreaves-Samani.

## 1 Introducción

Los efectos del cambio y la variabilidad climática sobre los sistemas agrícolas han aumentado el interés en el estudio de las interacciones entre cultivos y clima [1].

La radiación solar incidente es la principal fuente de energía renovable en el planeta y una variable fundamental para que se produzcan procesos tales como fotosíntesis, evapotranspiración y crecimiento de las plantas, así como para determinar en forma eficiente la necesidad de agua y el rendimiento potencial de un cultivo [2].

La radiación solar es una variable meteorológica con muy pocos registros en comparación con la temperatura y las precipitaciones. Además su medición requiere equipamientos costosos que demandan mantenimiento permanente, así como un organismo que centralice los datos, verifique la consistencia y calibre regularmente los sensores. [3].

En el caso de Argentina, en la mayoría de las regiones agrícolas hay carencia de datos de radiación solar y, por lo tanto, esta variable tiene que ser estimada [4]. Se han desarrollado varios modelos empíricos como así también modelos estocásticos y de redes neuronales que utilizan las variables más comúnmente medidas (temperatura,

humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento, etc.) para estimar la radiación solar [5].

Dado que la disponibilidad de mediciones de radiación solar observada es espacial y temporalmente inadecuada para muchas aplicaciones [6], los productos provenientes de la teledetección proveen una forma de obtener información de la radiación global con continuidad temporal y homogeneidad espacial. Diversos autores, utilizando estos productos, han estimado radiación solar con precisión más que suficiente para usos agrícolas [7].

En Asia y Oceanía, [8] encontró correlación entre la radiación solar promedio mensual observada en distintas estaciones con la obtenida, empleando datos de los satélites Terra y Aqua. Yan et al. [9] al comparar flujos instantáneos de los componentes del balance de radiación superficial estimados con CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System), para el período julio de 2008 a marzo 2010 en el interior de Asia oriental, comprobaron que se correlacionan fuertemente con las observaciones de superficie. Para España, [10] estimó radiación solar con datos del satélite geostacionario Meteosat para generar mapas de esta variable y [7], observaron que la radiación solar global mensual proporcionada por CERES se ajusta, con muy buena precisión, a la radiación solar registrada en diferentes estaciones meteorológicas situadas en toda España, para el período julio 2006 - julio 2015, luego de una corrección realizada a partir de 2011. En Argentina, [3] mostraron muy buenas correlaciones entre la radiación solar provista por CERES y la estimada por distintos modelos para diferentes estaciones meteorológicas de Argentina.

El objetivo del presente estudio fue evaluar y comparar la radiación solar registrada con aquella obtenida a partir de CERES y con la estimada por el modelo de Hargreaves-Samani, para la estación meteorológica de la EEA Manfredi del INTA situada en la zona agrícola núcleo del centro de Córdoba.

## **2 Materiales y métodos**

### **2.1 Área de aplicación e información meteorológica**

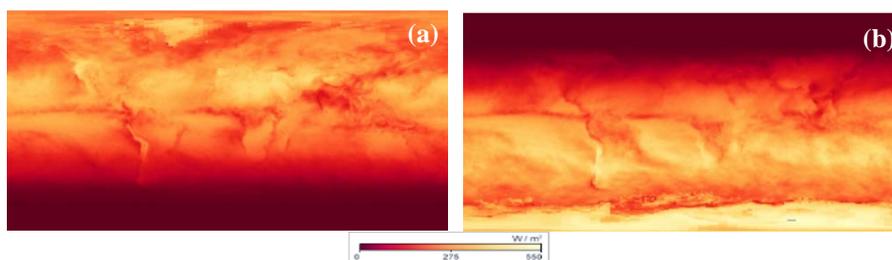
El trabajo se desarrolló con datos de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Manfredi del INTA para el año 2013. La estación se encuentra situada en el departamento Río Segundo y sus coordenadas son 31°49'S 63°46'W (Figura 1). Se utilizaron registros diarios de radiación solar ( $Wm^{-2}$ ) y de temperatura máxima y mínima (°C) cuyas medias mensuales oscilan entre 23,4 °C y 11,5 °C.



**Fig. 1.** Ubicación de la EEA Manfredi. (Imagen extraída de Google Earth)

## 2.2 Datos satelitales

La radiación solar proveniente de satélite se obtuvo a partir del instrumento CERES, que opera en distintos satélites de NASA, y mide la radiación solar reflejada y la emitida por la Tierra desde el tope de la atmósfera ([http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES\\_INSOL\\_M](http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_INSOL_M)) (Figura 2). La información fue procesada de acuerdo al proyecto Fast Longwave And SHortwave Radiative Fluxes (FLASHFlux-<http://flashflux.larc.nasa.gov/>). La resolución espacial de las imágenes que se utilizaron en este trabajo fueron de 0,25° de latitud/longitud, y la resolución temporal fue diaria para el año 2013. En este año se registraron 338 días con datos para la ubicación elegida. Se realizó además una corrección lineal para la zona de acuerdo a [7] después de verificar que se presentaban cambios de igual proporción en los valores de la radiación informada, y la obtenida a partir de CERES.



**Fig. 2.** Imagen de Radiación solar provista por CERES correspondiente a julio de 2013 (a) y diciembre de 2013 (b) (Imagen extraída de <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov>).

### 2.3 Modelo de estimación de Hargreaves-Samani

Un modelo sencillo y muy utilizado para estimar la radiación solar incidente basado en la amplitud térmica diaria es el dado por la ecuación de Hargreaves-Samani [11]:

$$R_s = R_{se} \cdot 0,16 \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \quad (1)$$

donde  $R_s$  es la radiación solar estimada,  $R_{se}$  es la radiación solar astronómica,  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  son las temperaturas máxima y mínima diarias registradas; además, para la zona de estudio, se utilizó el coeficiente empírico 0,16 que corresponde a regiones interiores de acuerdo a [12].

### 2.4 Estadísticos para evaluación

El ajuste entre la radiación solar diaria registrada en la estación y la radiación proveniente de CERES se realizó a partir de una regresión lineal.

Para evaluar el ajuste entre los datos se calcularon los estadísticos: coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la raíz del error cuadrático medio (RECM) definido por

$$RECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{s_{reg\ i}} - R_{s_{CER\ i}})^2}{N}} \quad (2)$$

donde  $R_{s_{reg\ i}}$  y  $R_{s_{CER\ i}}$  representan la radiación solar registrada y la proveniente de CERES para el día  $i$  respectivamente y  $N$  es el número de registros, (en este caso 338).

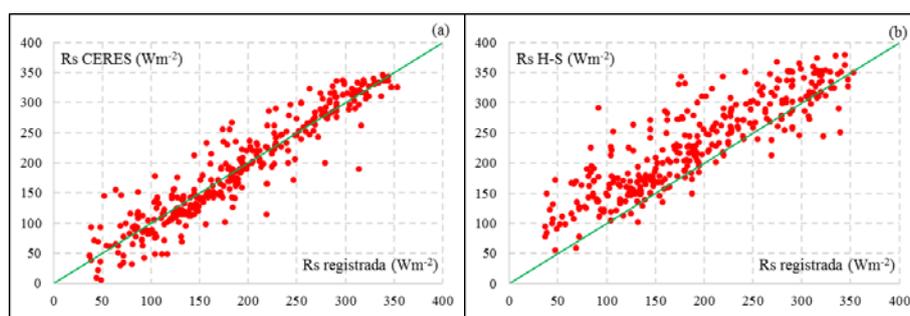
## 3 Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran la radiación solar promedio registrada en la estación Manfredi conjuntamente con la proveniente de CERES y la estimada por el modelo de Hargreaves-Samani (H-S), para el año 2013.

**Tabla 1.** Valores promedio mensuales de radiación solar ( $\text{Wm}^{-2}$ ) para la EEA Manfredi

Mes	Registrada	CERES	H-S
Enero	279,79	283,91	304,17
Febrero	250,23	248,91	262,40
Marzo	196,54	201,78	231,16
Abril	167,86	161,77	194,14
Mayo	128,12	116,04	149,66
Junio	106,76	99,97	141,21
Julio	102,41	92,44	140,21
Agosto	157,93	151,90	203,92
Septiembre	168,90	176,89	234,99
Octubre	223,72	231,59	291,16
Noviembre	246,35	257,30	290,58
Diciembre	277,22	284,24	329,72

Los valores de radiación solar provenientes de la información satelital brindan una mejor estimación de los registrados que los calculados a partir del modelo H-S. Estos últimos, como puede observarse en la Tabla 1, sobreestiman los valores de la radiación solar, lo cual se puede comprobar en la Figura 3 (b) donde se presenta el gráfico de dispersión entre los datos obtenidos por H-S y los datos registrados. Jacobs et al. [13] cuando estimaron radiación solar a partir de datos de GOES y con el modelo de Hargreaves-Samani para Paynes Prairie (EEUU), también observaron una sobreestimación de esta variable por el método H-S. Estos errores podrían deberse, como afirman [2], a que las estimaciones diarias de la radiación solar por modelos basados en la temperatura, están sujetas a errores causados por el movimiento de los frentes meteorológicos. La Figura 3 (a) muestra la comparación entre los datos de radiación solar provenientes de CERES y los registrados.



**Fig. 3.** Scatter plot entre la radiación solar registrada y la obtenida a partir de CERES (a) y calculada por el modelo H-S (b). (-) Recta 1:1

Los valores de los estadísticos, resultantes de los ajustes de regresión lineal realizados en este trabajo, pueden observarse en la Tabla 2. Para el caso de la estimación a partir de CERES los estadísticos son mejores que los presentados por [14] quienes para realizar estimaciones de la radiación solar global diaria, en 48 estaciones distribuidas en los cinco continentes, y a partir de datos del sensor MODIS obtuvieron  $R^2 = 0,88$  y  $RECM = 34,59 \text{ Wm}^{-2}$ .

**Tabla 2.** Coeficientes de determinación y raíz del error cuadrático medio ( $\text{Wm}^{-2}$ ) para las estimaciones de radiación solar para el año 2013 y la EEA Manfredi.

Mes	$R^2$	RECM
CERES	0,89	29,03
H-S	0,76	55,87

Los resultados muestran que la estimación basada en los datos provenientes de CERES es superior a la obtenida por el modelo basado en temperatura.

El ajuste obtenido a partir de datos satelitales presenta un valor similar al obtenido por [13], quienes en la estimación con GOES reportaron un coeficiente de determinación de 0,91, mientras que para la aproximación con el modelo H-S presentaron un coeficiente de determinación de 0,40 y un RECM de  $53,2 \text{ Wm}^{-2}$ . Finalmente, para Cañada de Luque (Córdoba), [2] estimaron radiación solar diaria con el modelo H-S con valores de  $R^2$  y RECM de 0,76 y  $42,48 \text{ Wm}^{-2}$  respectivamente.

## 4 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que es posible emplear la radiación solar proveniente de CERES y la estimada con el modelo matemático H-S como sustitutos en caso de no poseer registros de esta variable.

Si bien los valores de ambas estimaciones son confiables, las del modelo H-S presentan los mayores errores.

La sobreestimación que presentan los valores de radiación producidos por H-S hace pensar en la posibilidad de ajustar el coeficiente de la ecuación para la zona para lo cual hay que verificar previamente la calidad de los datos.

Este trabajo muestra que para la zona agrícola del área de INTA Manfredi, en caso de carencia total o parcial de datos registrados de radiación solar, variable imprescindible para analizar el crecimiento de los cultivos, existen alternativas para su obtención.

## Consideraciones

Como entendemos la importancia de que los datos sean lo más precisos en tiempo y espacio, tendremos a futuro precauciones al momento de considerarlos, priorizando aquellos cuya procedencia permita asegurar su calidad. Esto último dependerá del mantenimiento periódico y las adecuadas calibraciones de los equipos.

## Agradecimientos

A la Mgter. Mónica Bocco por los valiosos aportes, sugerencias y apoyo que permitieron el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

1. Bocco, M., Ovando, G. and Sayago, S. Development and evaluation of neural network models to estimate daily solar radiation at Córdoba, Argentina. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(2), 179–184. (2006).
2. Almorox, J., Bocco, M. y Willington, E.: Estimation of daily global solar radiation from measured temperatures at Cañada de Luque, Córdoba, Argentina. *Renewable Energy* 60, 382–387. (2013).
3. Ovando, G., Sayago, S. y Bocco, M.: Radiación solar: modelos para estimarla a partir de imágenes de CERES. Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente 3, 08.01-08.09. (2015).
4. Will, A., Bustos, J., Bocco, M., Gotay, J. and Lamelas, C.: On the use of niching genetic algorithms for variable selection in solar radiation estimation. *Renewable Energy* 50, 168–176. (2013).
5. Sayago, S., Ovando, G. y Bocco, M. Radiación solar a partir de datos satelitales. En: 45 JAIIO– 8vo. Congreso Argentino de AgroInformática, CAI 2016, CABA, pp. 160–171 (2016).
6. Journée, M. and Bertrand, C. Improving the spatio-temporal distribution of surface solar radiation data by merging ground and satellite measurements. *Remote Sensing of Environment* 114, 2692–2704. (2010).
7. Almorox, J., Ovando, G., Sayago, S. and Bocco, M. Assessment of surface solar irradiance retrieved by CERES. *International Journal of Remote Sensing* 38(12), 3669–3683. (2017).
8. Masuda, K. Surface radiation budget: comparison between global satellite-derived products and land-based observations in Asia and Oceania. In: *Proceedings of International Radiation Symposium*. Busan, Korea. (2004). <http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/~aan/report/radcmp.pdf>
9. Yan, H., J. Huang, P. Minnis, T. Wang, and J. Bi. Comparison of CERES Surface Radiation Fluxes with Surface Observations over Loess Plateau. *Remote Sensing of Environment* 115, 1489–1500. (2011).
10. Polo, J.: Solar global horizontal and direct normal irradiation maps in Spain derived from geostationary satellites. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 130-131, 81–88. (2015).
11. Hargreaves, G. and Samani, Z. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transaction of ASAE* 1(2), 96–99. (1985).
12. Hargreaves GH. Simplified coefficients for estimating monthly solar radiation in North America and Europe. Departmental paper, Dept. Of Biol. and Irrig. Eng. Logan: Utah State University. (1994).
13. Jacobs, J., Anderson, M., Friess, L. and Diak, G. Solar radiation, longwave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in Florida, USA. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques* 49(3), 461–476. (2004).
14. Chen, M., Zhuang, Q. and He, Y.: An Efficient Method of Estimating Downward Solar Radiation based on the MODIS observations for the use of Land Surface Modeling. *Remote Sensing* 6, 7136–7157. (2014).