

**ESTIMACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR DIARIA A PARTIR DE DIFERENTES  
VARIABLES METEOROLÓGICAS**  
ESTIMATING DAILY SOLAR RADIATION BASED ON DIFFERENT METEOROLOGICAL  
VARIABLES

**Federico Schmidt<sup>1</sup>, Federico Bert<sup>2</sup>, Federico Claus<sup>3</sup>, Fernando Nollas<sup>4</sup>, María Skansi<sup>4</sup>, Natalia  
Herrera<sup>4</sup>, Guillermo Podestá<sup>5</sup>**

[schmidt.federico@hotmail.com](mailto:schmidt.federico@hotmail.com)

<sup>1</sup> **Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires**

<sup>2</sup> **Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires**

<sup>3</sup> **Oficina de Riesgo Agropecuario, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca**

<sup>4</sup> **Servicio Meteorológico Nacional**

<sup>5</sup> **Universidad de Miami, Escuela Rosenstiel de Ciencias Marinas y Atmosféricas, USA**

**RESUMEN**

La radiación solar diaria es una variable necesaria para muchos modelos hidrológicos y agronómicos cuya medición en redes de estaciones convencionales es muy limitada. Este trabajo tiene como objetivo implementar, calibrar y evaluar diferentes métodos para estimarla utilizando diferentes variables meteorológicas.

Se evaluaron tres métodos de estimación de radiación a partir de otras variables meteorológicas observadas: (a) Bristow-Campbell, que utiliza como entrada las temperaturas máxima (Tmax) y mínima (Tmin) diarias; (b) Supit-Van Kappel, que utiliza Tmax, Tmin y nubosidad (en octas); y (c) Angström-PreScott que utiliza la heliofanía (horas de sol por día). Todos los métodos requieren además la radiación solar extraterrestre ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), estimada a partir de la latitud de la estación meteorológica y el día del año.

Se estimó la radiación para dos estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional: Pilar (Córdoba) y Villa Ortúzar (Buenos Aires). Después de eliminar algunas observaciones sospechosas, se dispuso de 389 observaciones para Pilar (entre el 2012 y 2013) y 353 para Villa Ortúzar (entre 2013 y 2014). La radiación solar se midió utilizando piranómetros Kipp & Zonen CM11.

Los parámetros de calibración de cada método se estimaron para todo el conjunto y para cada mes por separado. Sin embargo, la calibración mensual no aportó mejoras significativas, por lo cual se estimó un único conjunto de parámetros por estación. Asimismo, se estimaron parámetros (i) para cada estación y (ii) combinando ambas estaciones. Dada la baja disponibilidad de registros, finalmente se estimó un único conjunto de parámetros (combinando estaciones y meses) para cada método.

El desempeño de cada método se evaluó a través de las siguientes métricas aplicadas a diferencias entre valores observados y estimados: (a) coeficiente de determinación ( $R^2$ ); (b) Root Mean Square Error (RMSE); (c) Mean Absolute Percentage Error (MAPE); y (d) Mean Bias Error (MBE).

El método de Angström-PreScott produjo las mejores estimaciones:  $R^2 = 0.93$ ,  $\text{RMSE} = 2.09 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ,  $\text{MAPE} = 9.76\%$  y  $\text{MBE} = 0.16 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . El método de Supit-Van Kappel, mostró resultados algo inferiores (aunque el sesgo es ligeramente mejor, según el MBE):  $R^2 = 0.85$ ,  $\text{RMSE} = 3.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ,  $\text{MAPE} = 15.2\%$  y un  $\text{MBE} = 0.04 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . El método

Bristow-Campbell mostró una habilidad menor a los otros dos métodos:  $R^2 = 0.63$ ,  $RMSE = 5.03 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,  $MAPE = 21.9\%$  y  $MBE = 0.62 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

Se concluyó que el método de Angström-Prescott debería ser usado para estimar radiación solar diaria siempre que estén disponibles valores de heliofanía. Caso contrario, el método de Supit-Van Kappel puede ser una opción conveniente, aunque requiere datos de nubosidad media diaria que no siempre están disponibles. Finalmente, el método de Bristow-Campbell es una alternativa válida cuando sólo se dispone de registros de temperaturas, a expensas de un error mayor que el de otros métodos. Este método se usará para estimar radiación para series sintéticas diarias producidas por generadores estocásticos que simulan solamente Tmax, Tmin y precipitación.

## ABSTRACT

The daily solar radiation is a variable required by many hydrological and agronomical models which is rarely measured in conventional weather station networks. This work aims to implement, calibrate and evaluate different methods to estimate daily solar radiation using different meteorological variables.

Three methods for the estimation of solar radiation from other observed meteorological variables were evaluated: (a) Bristow-Campbell, which uses daily minimum (Tmax) and maximum (Tmin) temperature as input variables; (b) Supit-Van Kappel, which uses the same variables as (a) plus daily average cloud cover (in oktas); and (c) Angström-Prescott, which uses daily sunshine duration. All these methods also require the value of the extraterrestrial radiation ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), estimated from the latitude of the weather station and the day of the year.

Daily solar radiation was estimated for two weather stations from the Argentinean National Meteorological Service: Pilar (Córdoba) and Villa Ortúzar (Buenos Aires). The Pilar radiation data set includes 389 values and it spanned between 2012 and 2013, while the Buenos Aires data set includes 353 values between 2013 and 2014. Some outliers were previously excluded from both datasets. Radiation data was measured using Kipp & Zonen CM11 pyranometers. ,

The coefficients for each method were calibrated for both the whole dataset and monthly. However, as the monthly calibration approach did not produce significant improvements, a single coefficient set for each station was used. In turn, the coefficients set was calculated (i) for each station and (ii) combining radiation data from both stations. Given the scarcity of radiation data, we calculated a single coefficient set combining both stations and using the whole dataset.

Each method's performance was assessed using the following metrics, applied to the difference between predicted and observed radiation values: (a) Coefficient of determination ( $R^2$ ); (b) Root Mean Square Error (RMSE); (c) Mean Absolute Percentage Error (MAPE); y (d) Mean Bias Error (MBE).

Angström-Prescott showed the best estimations:  $R^2 = 0.93$ ,  $RMSE = 2.09 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,  $MAPE = 9.76\%$  and  $MBE = 0.16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Supit-Van Kappel produced slightly worse results (though less biased, according to the MBE):  $R^2 = 0.85$ ,  $RMSE = 3.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,  $MAPE = 15.2\%$  and  $MBE = 0.04 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Bristow-Campbell had a lower performance when compared with both previous methods:  $R^2 = 0.63$ ,  $RMSE = 5.03 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ,  $MAPE = 21.9\%$  y  $MBE = 0.62 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

We concluded that Angström-Prescott should be used to estimate daily solar radiation whenever daily sunshine duration data are available. Otherwise, Supit-Van Kappel could be a convenient

option, although this method requires cloud cover data which is rarely available. Finally, Bristow-Campbell is a valid alternative when only maximum and minimum temperatures are available, though it showed a higher error than the other two methods. This last method may be used to estimate daily solar radiation for synthetic weather series produced with stochastic weather generators that only simulate Tmax, Tmin and precipitation.

**Palabras clave:** estimación, radiación solar.