



Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.
Asociación Estatal de Asociaciones de Usuarios de Riego
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.



"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA TIERRA,
NO LA DEL HOMBRE"



EVALUACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS PARA ESTIMAR RADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA EN CHAPINGO, MÉXICO

AGUSTÍN RUIZ-GARCÍA; YESSICA ALEJANDRA GÓMEZ-PÉREZ;
RAMÓN ARTEAGA-RAMÍREZ

Fecha de presentación **19/septiembre/2019**
Mazatlán, Sinaloa, México



SINALOA
GOBIERNO DEL ESTADO



CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA



AURPAES, S.C.
Asociación Estatal de Asociaciones de Usuarios de Riego
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.



SADER
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



AMERD
ASOCIACIÓN MEXICANA DE EMPRESAS DE RIEGO Y DRENAJE A.C.



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA
DEL AGUA

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



ANUR
ASOCIACIÓN NACIONAL DE
USUARIOS DE RIEGO, A.C.



**UNIVERSIDAD
DE LOS MOCHIS**





Contenido

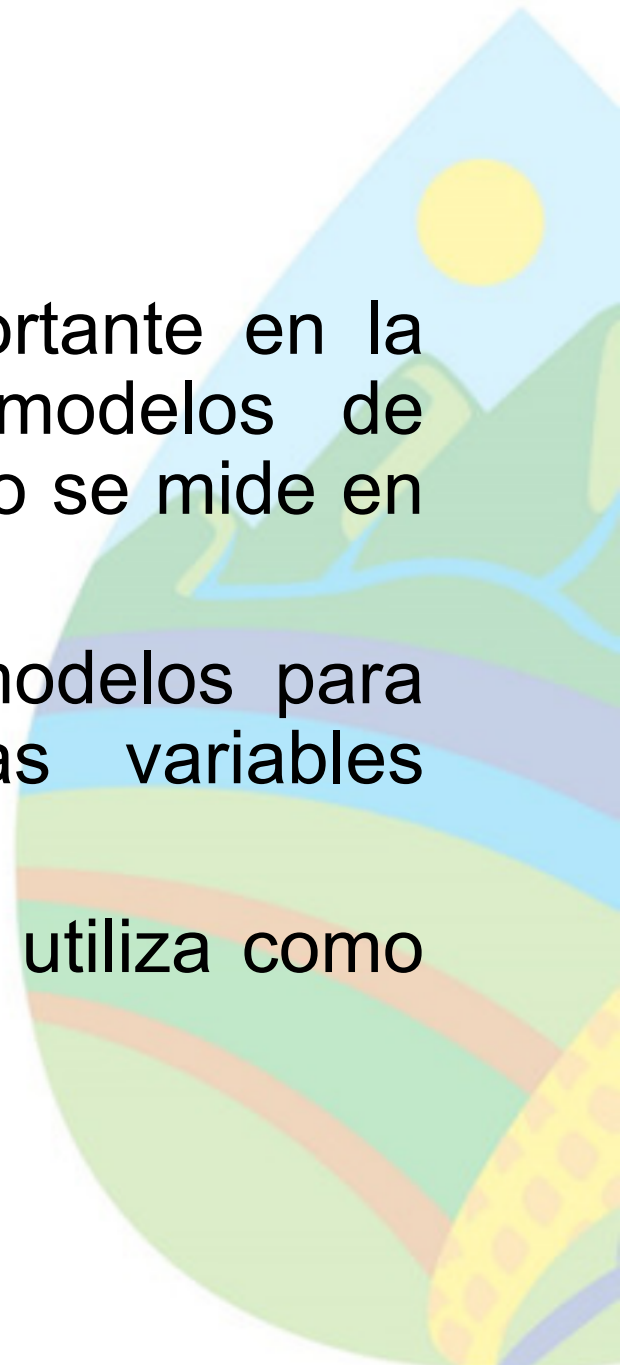
- Introducción
- Métodos y Materiales
- Resultados y Discusión
- Conclusiones





Introducción

- La radiación solar global es un parámetro importante en la estimación de necesidades de riego y en modelos de simulación de cultivos, pero es una variable que no se mide en muchas estaciones meteorológicas.
- Esta situación ha dado lugar al desarrollo de modelos para estimar la radiación solar a partir de otras variables meteorológicas.
- El modelo más conocido es el de Angström, que utiliza como entrada valores de la duración de la insolación.





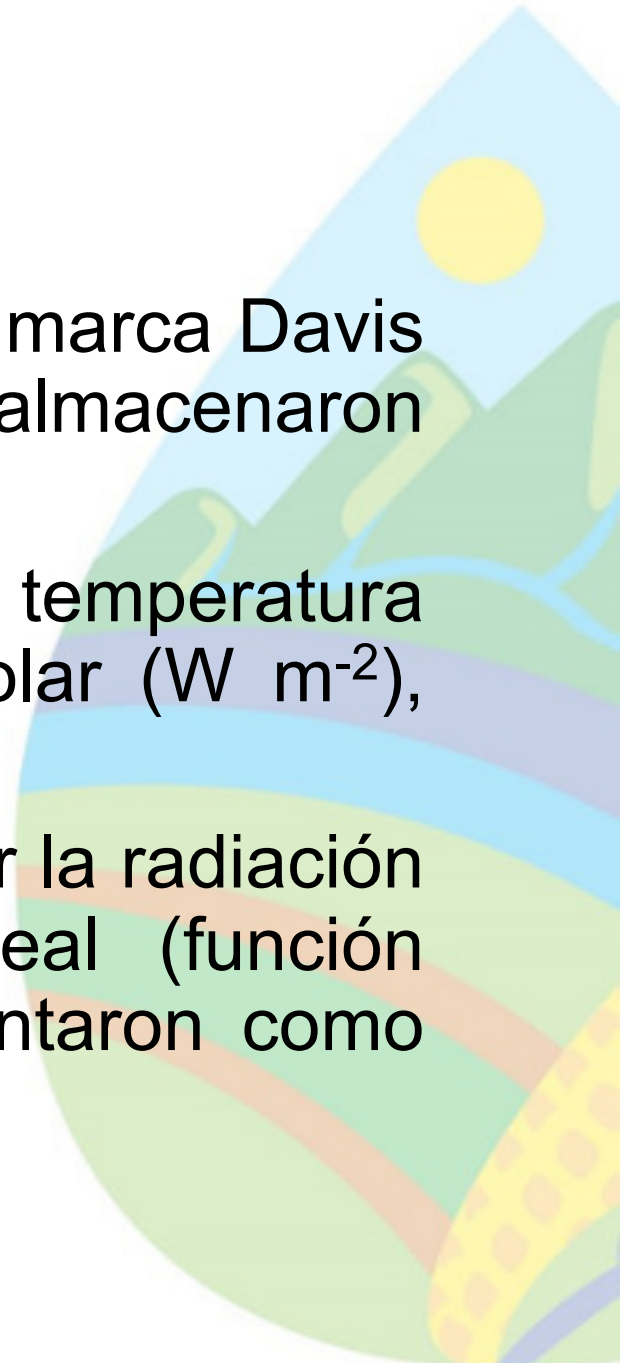
Introducción

- En general, los modelos que usan la insolación como entrada superan a los modelos basados solamente en temperatura, pero esta se mide en pocas estaciones.
- Quej et al. (2016) evaluaron modelos empíricos para estimar la radiación solar diaria en la Península de Yucatán, y concluyeron que los modelos basados en temperatura, lluvia y humedad relativa se desempeñan mejor que aquellos que usan solamente la temperatura.
- **El objetivo de este estudio fue estimar los parámetros de modelos empíricos para estimar la radiación solar diaria en Chapingo, Méx.**



Materiales y métodos

- Se utilizaron datos de una estación meteorológica marca Davis localizada en Chapingo, México. Las variables se almacenaron cada 30 min.
- Variables usadas como entradas de los modelos: temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), radiación solar (W m^{-2}), lluvia (mm) y duración de la insolación (h).
- Se calibraron seis modelos empíricos para estimar la radiación solar global diaria, mediante regresión no lineal (función NLINFIT de MATLAB). Los modelos se implementaron como funciones en MATLAB.



Métodos y Materiales

- La calibración se realizó con datos de los años 2005 y 2007, y la validación con datos de 2006 (Stockle et al., 2004).

- Notación:

R_s = radiación solar diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

R_a = radiación solar extraterrestre diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

T_{max} = temperatura máxima diaria ($^{\circ}\text{C}$)

T_{min} = temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$)

S = duración real de la insolación (h)

S_0 = duración máxima posible de la insolación (h)



Métodos y Materiales

- **Modelo Bristow-Campbell (M1):**

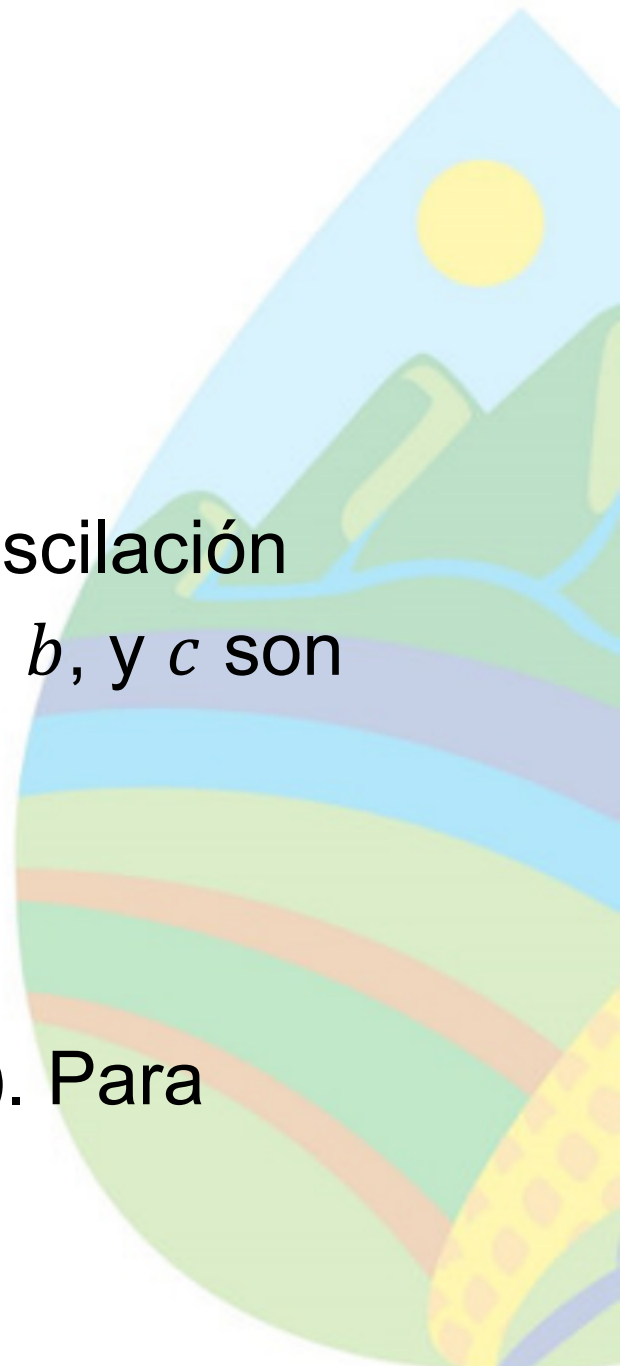
$$R_s = a[1 - \exp(-b\Delta T_i^c)]R_a$$

donde: $\Delta T_i = T_{max(i)} - 0.5(T_{min(i)} + T_{min(i+1)})$ es la oscilación térmica diaria, i es el día del año. Los coeficientes a , b , y c son empíricos.

- **Modelo Hargreaves (M2):**

$$R_s = a\sqrt{(T_{max} - T_{min})}R_a$$

Donde: a es un coeficiente empírico de ajuste ($^{\circ}\text{C}^{-0.5}$). Para zonas del “interior” $a \cong 0.16$ (Allen et al., 1998).





Métodos y Materiales

- **Modelo Angström (M3):**

$$R_s = \left[a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \right] R_a$$

donde: a y b son coeficientes empíricos.

- **Modelo Johnson-Woodward (M4):**

$$R_s = \frac{3600(nJ_{0,s} + NJ_{0,d})}{10^6 p}$$

donde: $J_{0,s}$ es la radiación directa ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$), $J_{0,d}$ es la radiación difusa ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$).



Métodos y Materiales

- **Modelo Boisvert (M5):**

$$R_s = [a + b(S/S_0) + c(1 - S/S_0)\ln(1 + P) + d(1 - S/S_0)^{15}]R_a$$

donde: P es la precipitación diaria (mm); a , b , c y d son parámetros empíricos que se deben estimar.

- **Modelo Quej (M6):**

$$R_s = [((T_{max} - T_{min})^a + b)(1 + c \cdot HR) + d \cdot RT]R_a$$

donde: HR es la humedad relativa promedio diaria (%), RT es la lluvia transformada (si $Lluvia > 0$, $RT = 1$; si $Lluvia = 0$, $RT = 0$).



Métodos y Materiales

Estadísticos para comparar los modelos:

- Error medio absoluto:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |R_{m,i} - R_{s,i}|$$

- Cuadrado medio del error:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{s,i} - R_{m,i})^2}$$

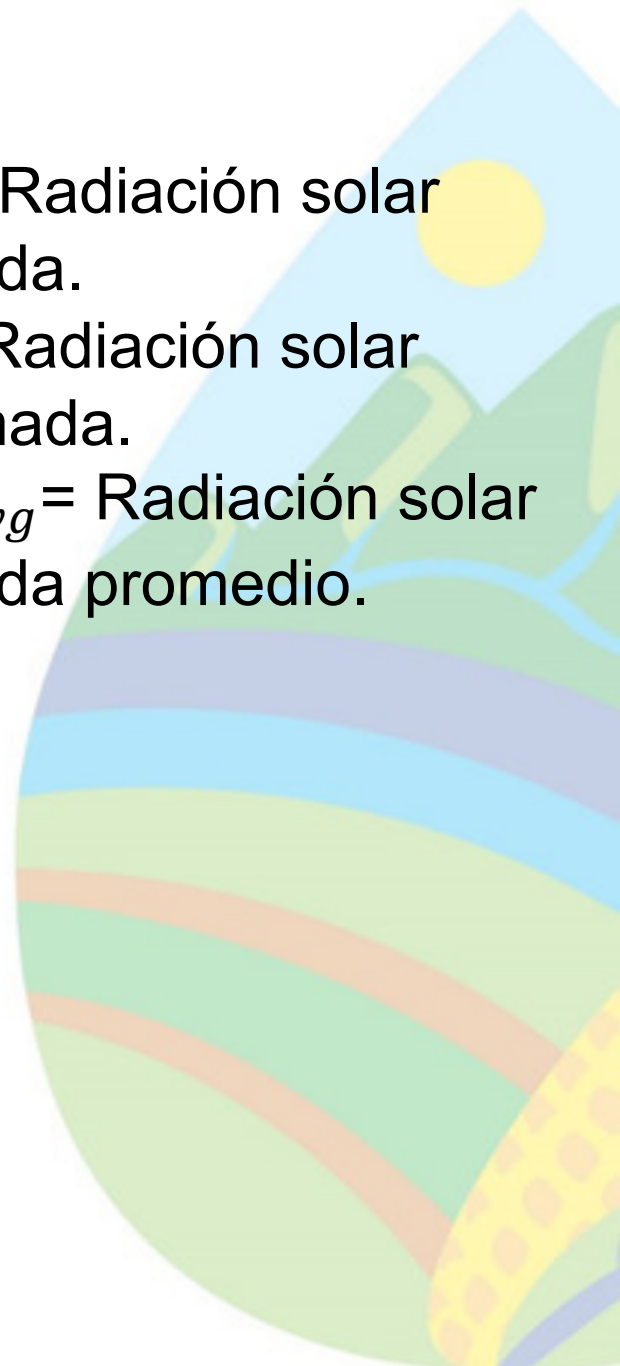
- Coeficiente de determinación:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (R_{m,i} - R_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^n (R_{m,i} - R_{m,avg})^2}$$

R_m = Radiación solar medida.

R_s = Radiación solar estimada.

$R_{m,avg}$ = Radiación solar medida promedio.



Resultados y Discusión

Cuadro 1. Estadísticas de la calibración (años 2005 y 2007) y validación (año 2007) de los modelos de radiación solar diaria en Chapingo, México.

Modelo	Calibración			Validación		
	MAE (MJ m ⁻² d ⁻¹)	RMSE (MJ m ⁻² d ⁻¹)	R ² (adim.)	MAE (MJ m ⁻² d ⁻¹)	RMSE (MJ m ⁻² d ⁻¹)	R ² (adim.)
Bristow-Campbell (M1)	1.554	2.061	0.690	1.624	2.126	0.708
Hargreaves (M2)	1.556	1.948	0.669	1.579	2.016	0.698
Angström (M3)	1.009	1.311	0.908	1.266	1.697	0.866
Johnson-Woodward (M4)	1.250	1.662	0.906	1.561	2.118	0.867
Boisvert (M5)	0.985	1.291	0.911	1.212	1.633	0.874
Quej (M6)	1.599	2.038	0.691	1.625	2.086	0.717

Resultados y Discusión

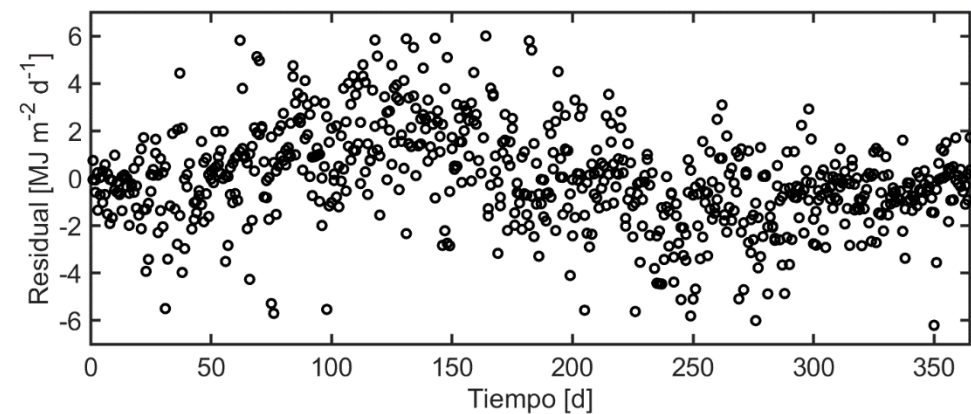
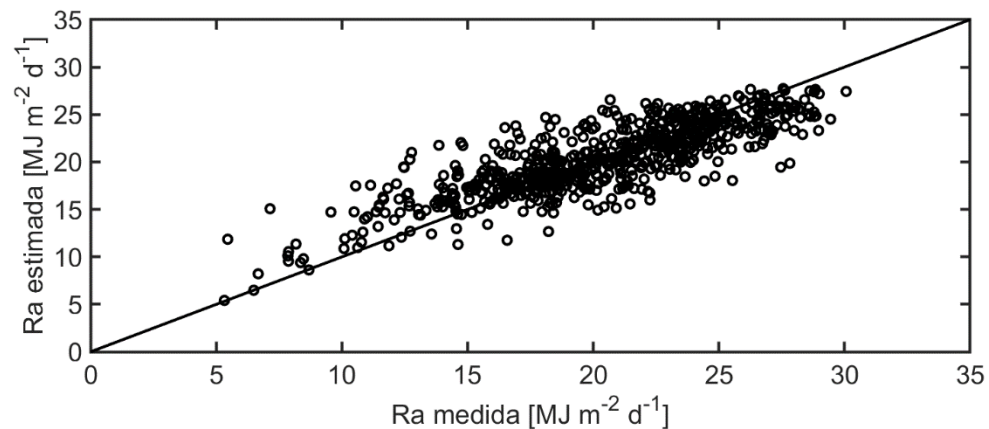
Cuadro 2. Parámetros estimados de los modelos de radiación solar diaria en Chapingo, Méx.

Modelo	Parámetro			
	a	b	c	d
Bristow-Campbell (M1)	0.797 (0.034)*	0.048 (0.008)	1.268 (0.098)	
Hargreaves (M2)	0.1560 (0.001)			
Angström (M3)	0.271 (0.004)	0.530 (0.007)		
Johnson-Woodward (M4)	1.525 (0.033)			
Boisvert (M5)	0.289 (0.006)	0.507 (0.008)	-0.016 (0.004)	-0.028 (0.013)
Quej (M6)	0.188(0.004)	-1.046 (0.023)	0.000 (0.001)	-0.029 (0.006)

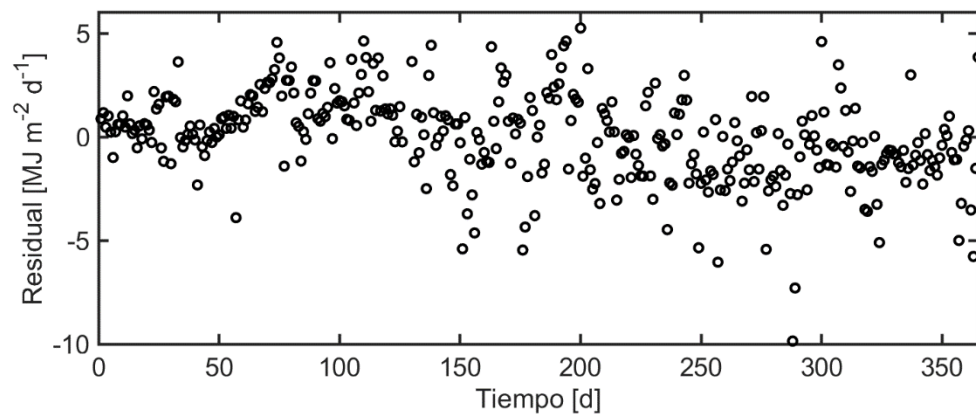
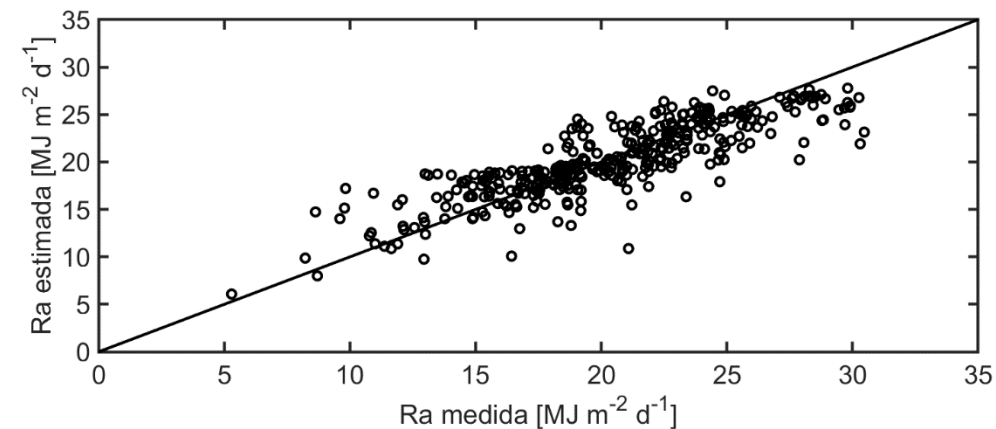
*El número entre paréntesis es la desviación estándar.

Resultados y Discusión

Modelo Bristow-Campbell (M1)



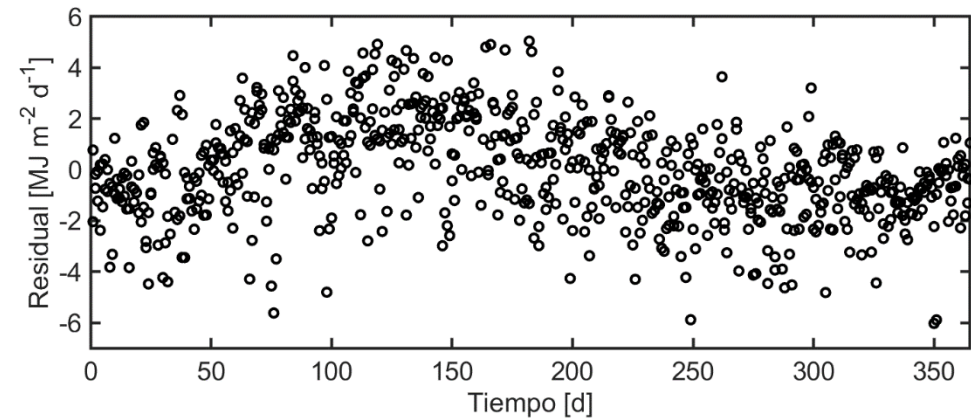
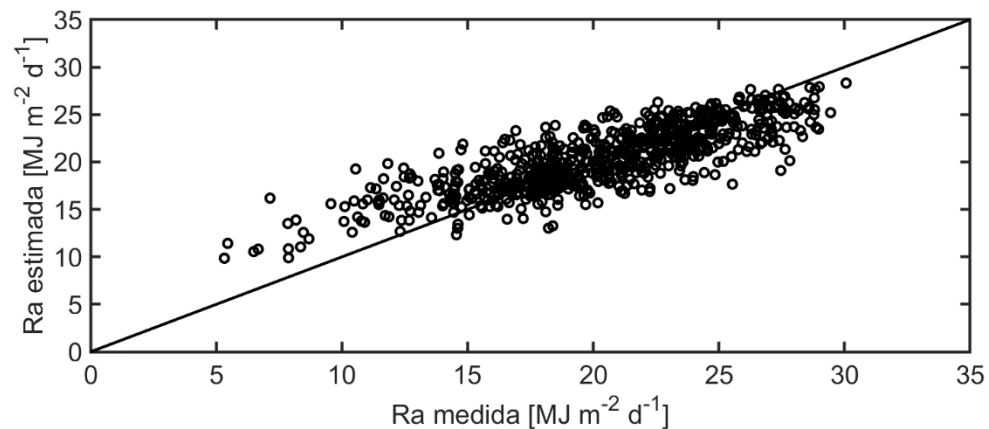
Calibración



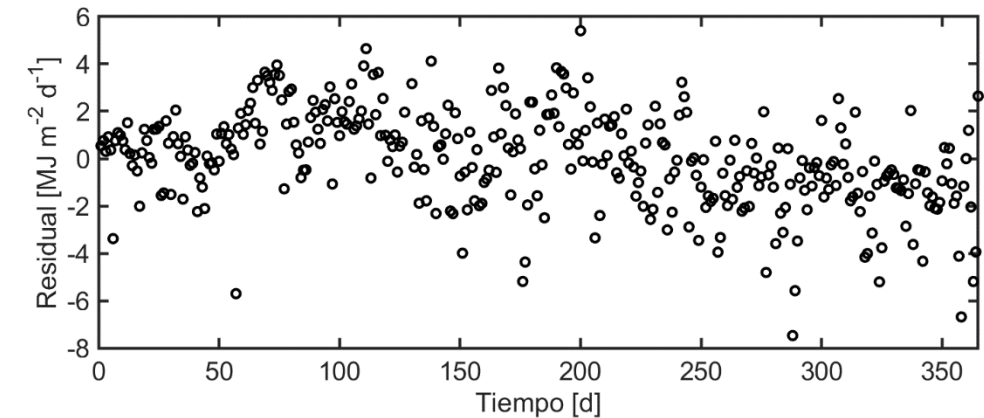
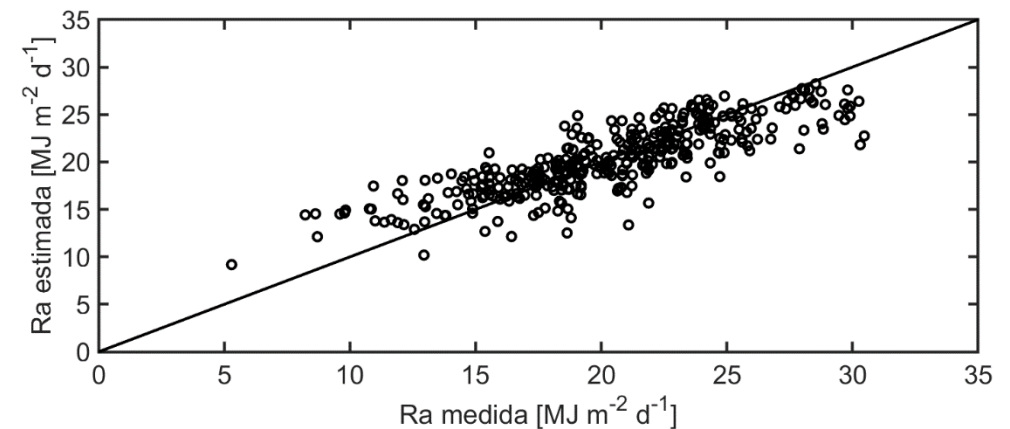
Validación

Resultados y Discusión

Modelo Hargreaves (M2)



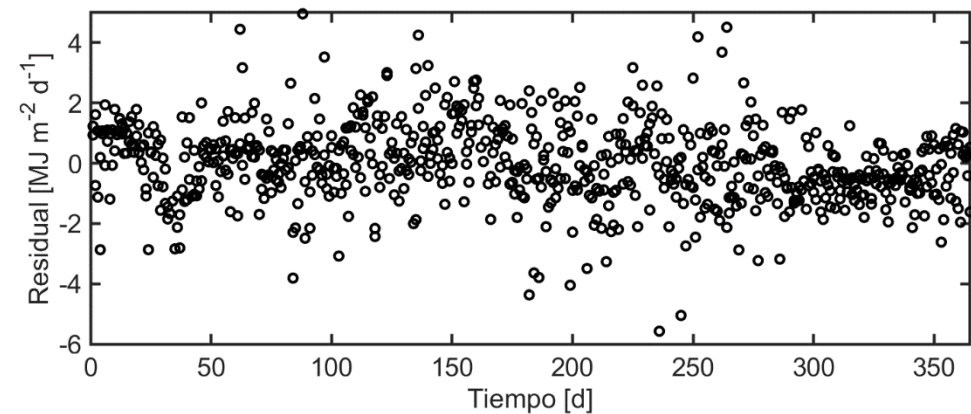
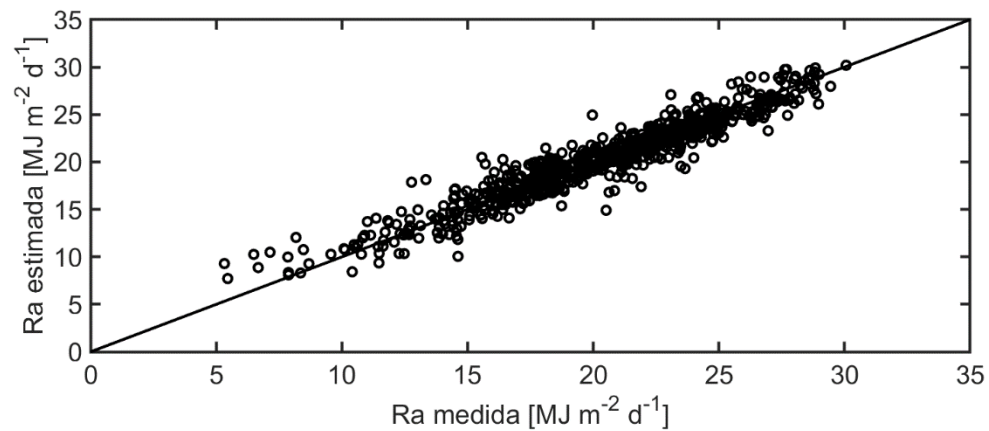
Calibración



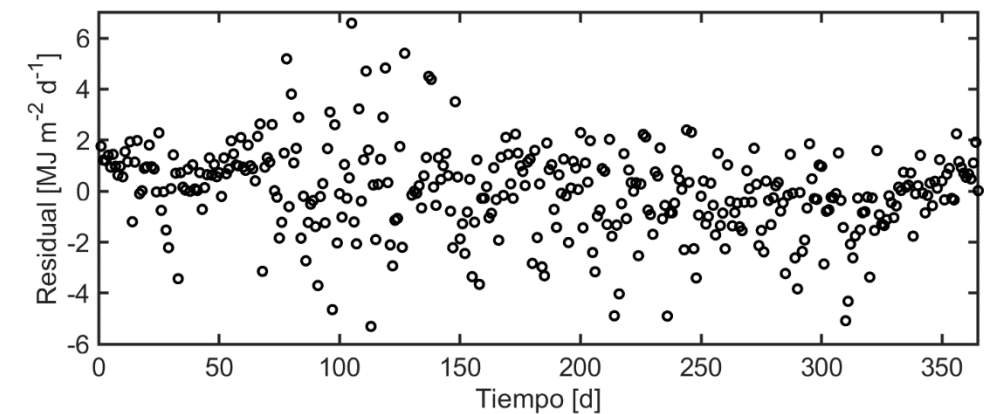
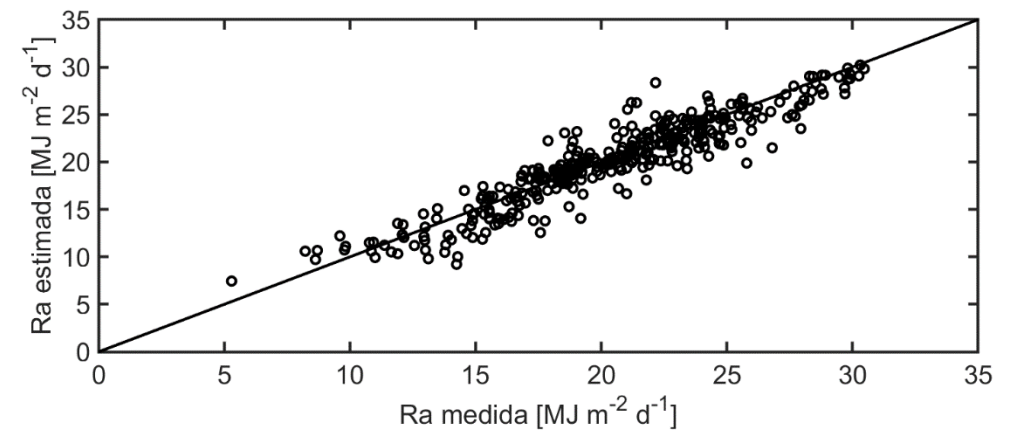
Validación

Resultados y Discusión

Modelo Angström (M3)



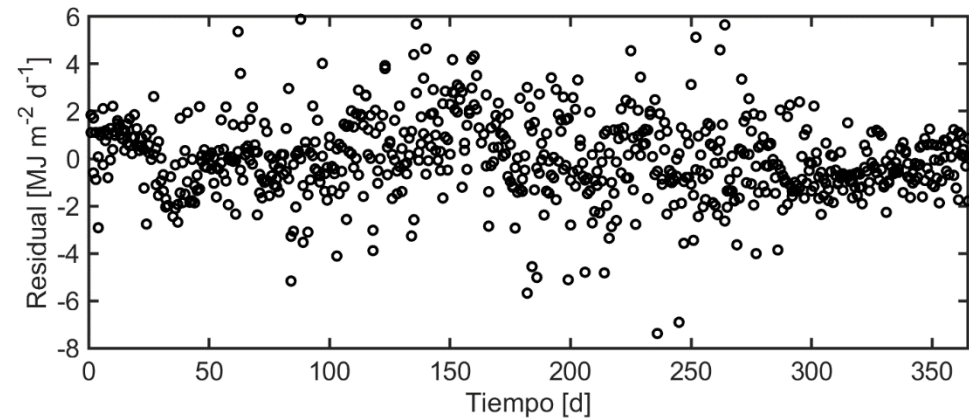
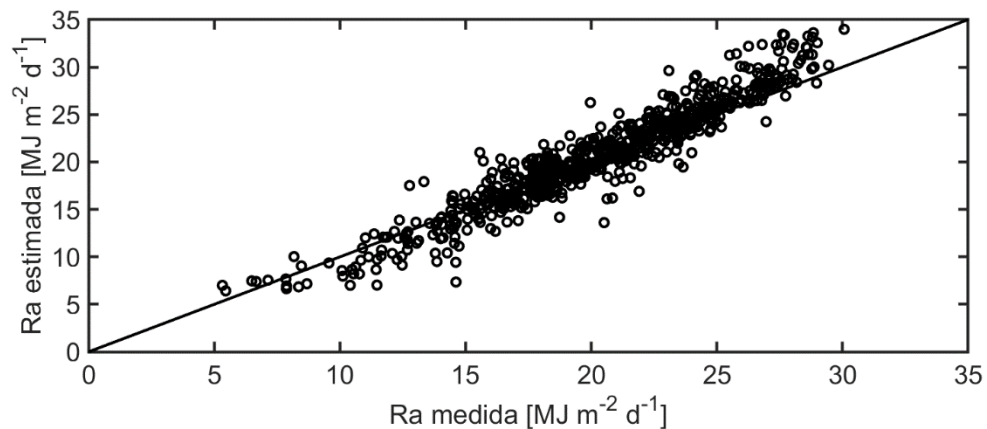
Calibración



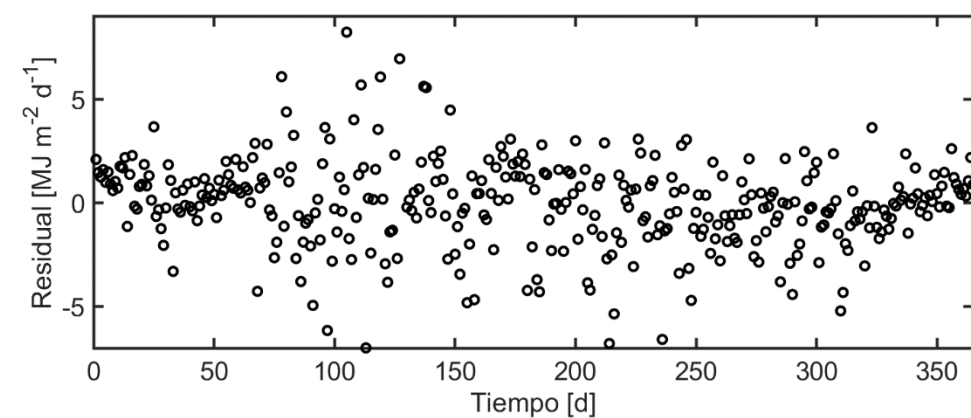
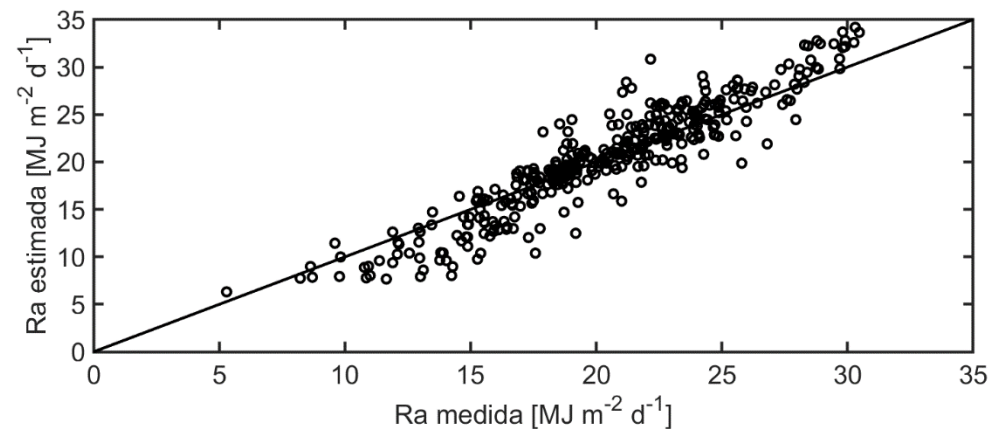
Validación

Resultados y Discusión

Modelo Johnson-Woodward (M4)



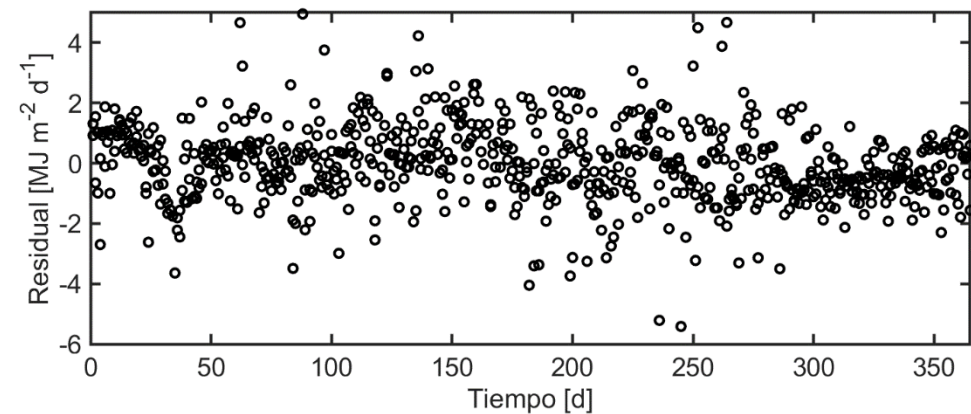
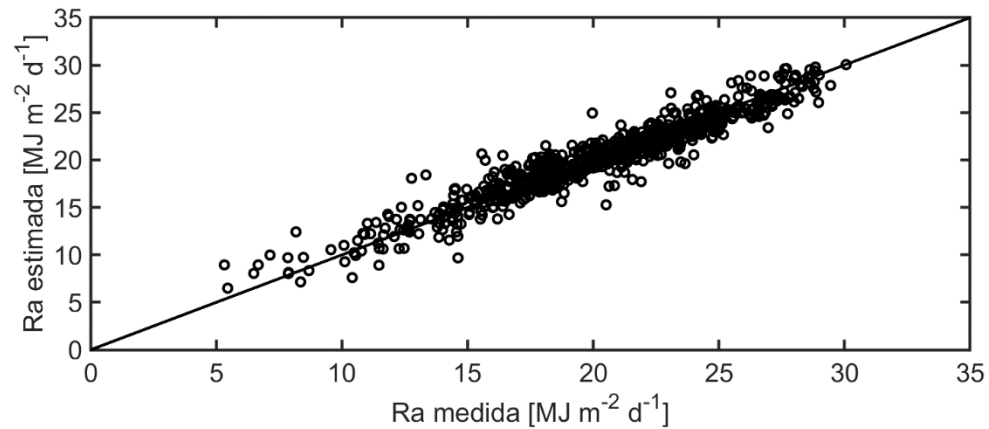
Calibración



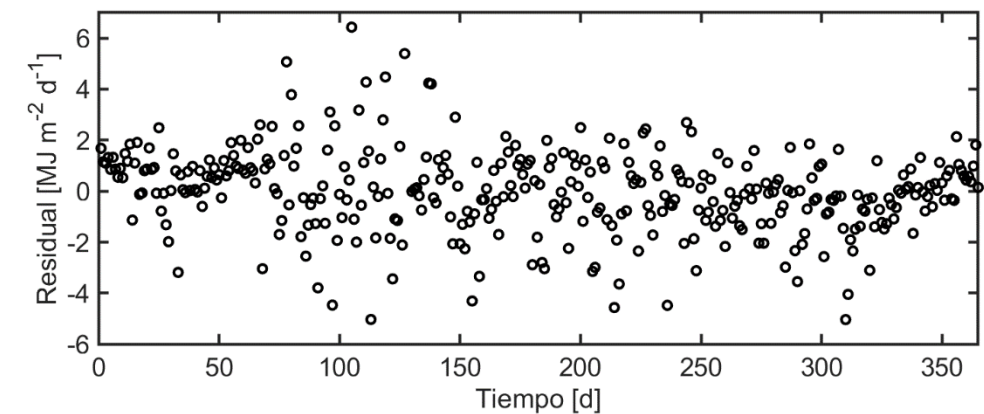
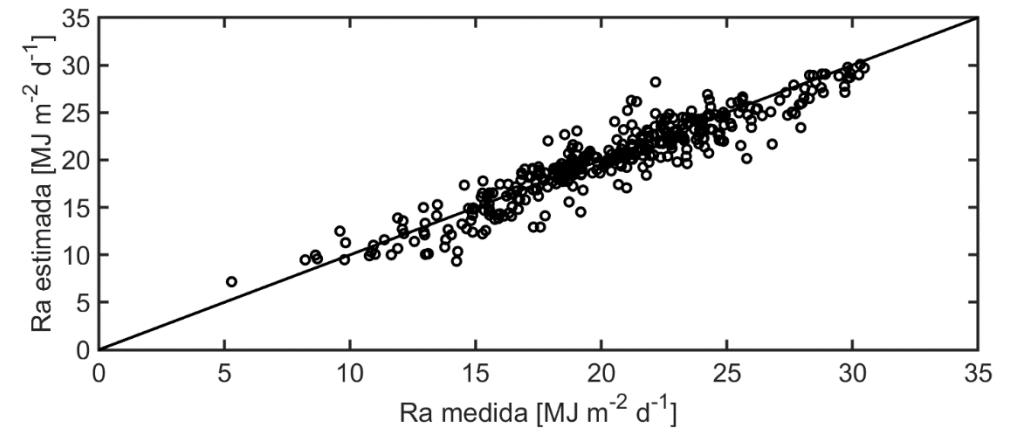
Validación

Resultados y Discusión

Modelo Boisvert (M5)



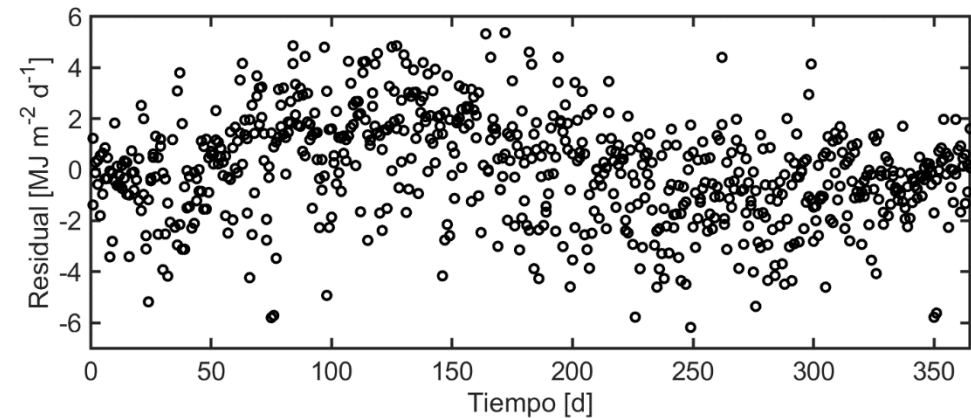
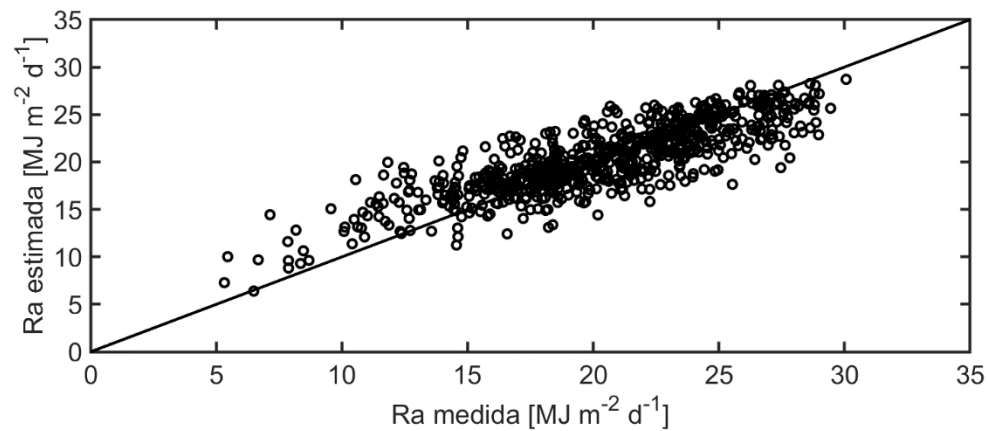
Calibración



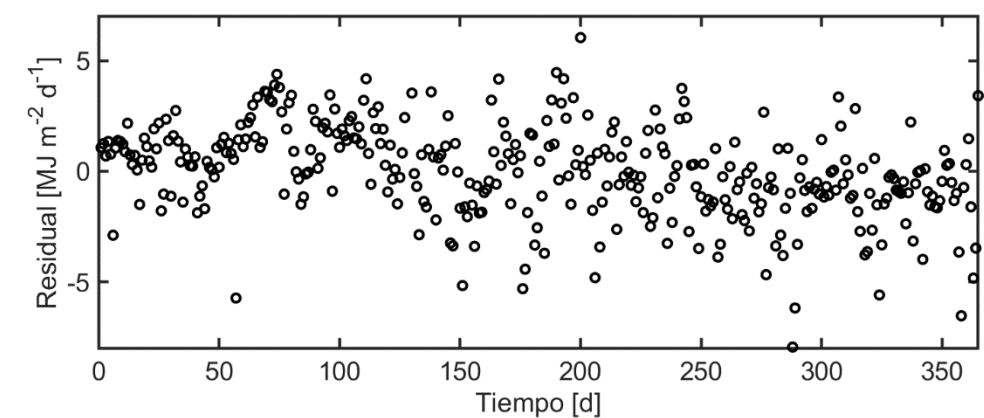
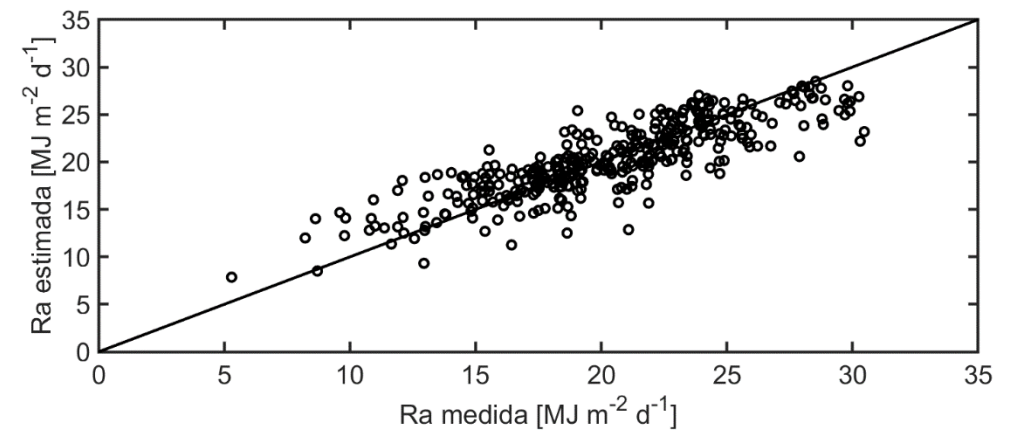
Validación

Resultados y Discusión

Modelo Quej (M6)



Calibración



Validación

Resultados y Discusión

- Se evaluaron dos variaciones del modelo de Bristow-Campbell (M1). La variaciones fueron: 1) $R_s = a \left[1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T_i^c}{R_a} \right) \right] R_a$ y 2) Bristow-Campbell (M1) con $\Delta T_i = T_{max(i)} - T_{min(i)}$. Ambas tuvieron un desempeño similar al modelo M1.
- El valor del parámetro a del modelo de Hargreaves (M2) fue cercano al del valor propuesto por Allen et al. (1998) (variación de 2.5%).
- Las valores estimados de los parámetros del modelo de Angström fueron mayores que los recomendados por Allen et al.

Resultados y Discusión

- El modelo de Boisvert (M5) que tiene como entradas la duración de la insolación y la lluvia tuvo el mejor desempeño de los seis modelos evaluados, tanto en la calibración como en la validación.
- El modelo de Quej (M6) que fue propuesto para la Península de Yucatán con clima subhúmedo tuvo un desempeño igual al modelo de Hargreaves (M2). De los dos, se prefiere el de Hargreaves por ser más simple (un solo coeficiente y la oscilación térmica como única entrada).
- Dos años de datos para la calibración y un año para la validación de los modelos fueron suficientes para este trabajo.

Conclusiones

- Se calibraron seis modelos para estimar la radiación solar diaria en Chapingo, Méx.
- El mejor modelo de acuerdo con la RMSE y R^2 fue Boisvert (M5), seguido de Angstrom (M3) y Johnson-Woodward (M4). Los modelos basados en temperatura Bristow-Campbell (M1) y Hargreaves (M2) tuvieron el mismo desempeño.
- Los modelos basados en duración de la insolación, temperatura, lluvia y humedad relativa se desempeñan mejor que aquellos que usan solamente la temperatura.





Bibliografía

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO 56, FAO, Rome.
- Stöckle, C. O., J. Kjelgaard, y G. Bellocchi. 2004. Evaluation of estimated weather data for calculating Penman-Monteith reference crop evapotranspiration. Irrigation Science 23: 39–46.
- Quej, V. H., J. Almorox, M. Ibrakhimov, y L. Saito. 2016. Empirical models for estimating daily global solar radiation in Yucatán Peninsula, México. Energy Conversion and Management 110: 448-456.
- Rivington, M., G. Bellocchi, K. B. Matthews, y K. Buchan. Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations. Agricultural and Forest Meteorology 132: 228-243.

GRACIAS



"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA TIERRA,
NO LA DEL HOMBRE"



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.
Asociación Nacional de Asociaciones de Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.

Contacto

Yessica Alejandra Gómez Pérez

Instituto Tecnológico del Altiplano
de Tlaxcala-TecNM

gomezyessica@itat.edu.mx

