

**UN METODO EMPIRICO PARA
LA PREDICCIÓN DE LA RADIACION
SOLAR GLOBAL
DIARIA MEDIA MENSUAL,
SOBRE UNA SUPERFICIE
HORIZONTAL, EN COSTA RICA**

*Lic. Jaime Wright Gilmore
Departamento de Física
Universidad Nacional*

RESUMEN

Lo que se pretende con este trabajo es probar el método de Swartman y Ogunlade (1966), en las áreas geográficas de Limón, Buenos Aires, Fabio Baudrit (Alajuela), Nicoya y Puntarenas, donde existen datos de brillo solar, humedad relativa y radiación solar global diaria media mensual. Se prueba la validez de este método para esas estaciones en estudio, con un valor aceptable de ± 10 0/o de error en la mayoría de los casos. En ausencia de aparatos que miden directamente la radiación solar global, se recomienda utilizar este método, pues únicamente requiere datos de humedad relativa y de brillo solar, que se miden directamente en casi todas las estaciones meteorológicas del país.

SUMMARY

This article attempts to verify the method used by Swartman and Ogunlade (1966) in the geographic areas of Limón, Buenos Aires, Fabio Baudrit (Alajue-

la), Nicoya and Puntarenas, where data exists concerning solar brilliance, relative humidity and daily global solar radiation based on monthly averages. The validity of this method is proved in reference to the above mentioned study sites, with an acceptable error factor of $\pm 10\%$ in the majority of the cases. The usage of this method is recommended in the absence of apparatus that measure directly the global solar radiation, because you only need data concerning relative humidity and solar brilliance; data that is directly collected in all of the meteorological stations located in Costa Rica.

RESUME

Le but de ce travail est la probation de la méthode de Swartman et Ogunlade (1966), en l'appliquant dans des aires géographiques tant diverses comme Limón, Buenos Aires, Fabio Baudrit (Alajuela), Nicoya et Puntarenas; c'est à dire là où il existe des mesures de la durée de l'ensoleillement, de l'humidité relative et de la moyenne mensuelle de la radiation solaire globale quotidienne. Le test de cette méthode, para ces stations donne une erreur relative de 10% dans la plupart des cas. Quand on manque d'appareils pour la mesure de la radiation solaire globale, on recommande l'usage de cette méthode, puisqu'elle se base sur les registres d'humidité relative et d'heures d'ensoleillement mesurées dans presque toutes les stations météorologiques du pays.

INTRODUCCION

La creciente demanda de combustibles fósiles (petróleo y carbón), utilizados como energía por parte del mundo industrializado, ha causado que estos combustibles se encuentren en vías de extinción y, ante esta situación, la tecnología se ha preocupado por investigar y elaborar proyectos sobre las fuentes de energía no convencionales, en especial la energía geotérmica, cólica y la radiación solar. El desarrollo científico de esta última fuente inagotable permitirá emplearla en problemas reales como los colectores solares, baterías, cuestiones agrícolas, etc.; proyectado a nuestro medio será una promesa en un futuro cercano, mediante un adecuado uso lleva consigo mismo una concepción más realista y desde luego más apegada a la naturaleza.

Los datos de radiación solar global diaria media mensual son necesarios en el diseño de la mayoría de los equipos utilizantes de la energía solar. En la actualidad las mediciones son hechas en pocas regiones de Costa Rica, debido al alto costo del equipo requerido y el cuidado que se necesita para su mantenimiento.

Los datos de radiación solar global en Costa Rica se obtienen generalmente a partir de registros diarios o semanales efectuados en su mayoría por el Instituto Meteorológico Nacional y el Instituto Costarricense de Electricidad, mediante el actinógrafo Robytzch bimetálico. Se sabe que estos instrumentos no son los mejores para observar la radiación y necesitan frecuentes calibraciones. Basados en que estos instrumentos se deterioran y pierden gran sensibilidad con

los años, se ha decidido en este trabajo utilizar los datos de radiación global que no excedan los tres primeros años del uso del equipo.

Los datos de radiación solar global en una superficie horizontal, humedad relativa y heliofanía absoluta (horas de sol), utilizadas en este trabajo, fueron tomados de las estaciones meteorológicas de Limón, Buenos Aires, Fabio Baudrit (Alajuela), Nicoya y Puntarenas.

DESCRIPCION DEL METODO Y RESULTADOS

Swartman y Ogunlade (1966) utilizaron la humedad relativa, HR, y la heliofanía absoluta (horas de sol), n , en tres ecuaciones distintas para predecir la radiación solar global en un plano horizontal.

$$Q = 490 (n/12)^{0.357} (HR)^{-0.262} \quad (I)$$

$$Q = 460 \exp 0.607 \frac{(n - HR)}{12} \quad (II)$$

$$Q = 464 + 265 (n/12) - 248 HR \quad (III)$$

Las ecuaciones (II) y (III) dan errores significantes grandes en la estimación de la radiación solar global en Costa Rica (ver Wright, 1981). La ecuación (I) se adapta prácticamente a las estaciones meteorológicas en estudio, en que el porcentaje de diferencia entre el valor estimado con el observado de la radiación solar global, no excede el ± 10 % aceptable, en la mayoría de los casos (ver tabla 1).

La tabla 2 presenta la desviación cuadrática media de la fórmula de Swartman y Ogunlade (1966), utilizada en la predicción de la radiación solar global diaria mensual en Limón, Buenos Aires, Fabio Baudrit (Alajuela), Nicoya y Puntarenas. Se observa que los valores de la desviación cuadrática media varían de $28.7 \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ (Limón) a $33.8 \text{ cal. cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ (Nicoya), lo que indica que existe poca diferencia entre el valor estimado y el observado. Por consiguiente es aconsejable su aplicabilidad en esas regiones del país.

La tabla 3 presenta la correlación lineal, r , entre la radiación solar global relativa, Q/Q_0 , y la heliofanía absoluta, HR. Donde Q_0 , es el valor de la radiación solar global en el tope de la atmósfera (ver Klein, 1976). Se observa que el coeficiente de correlación lineal, r , para cada estación, la heliofanía absoluta, n , emerge como un gran predictor de la radiación solar global debido a que sus valores oscilan entre 0.78 y 0.95, lo que da un coeficiente de determinación mayor del 60 %. Sin embargo, la humedad relativa presenta valores del coeficiente de correlación lineal entre 0.57 y 0.83, siendo estos valores relativamente pobres en la estimación de la radiación solar global. No obstante, pueda ser que esta relación no sea lineal, y aquellos valores que presenten una pobre correlación no lineal, en la determinación de la radiación solar global en Costa Rica.

Si analizamos el comportamiento de la humedad relativa HR, y de la helio-

TABLA 1. Estimación de la radiación solar global diaria media mensual utilizando el método de Swartman y Ogunlade (1966). (Cal. Cm^{-2} . días $^{-1}$)

Mes	<i>Buenos Aires (1972-74)</i>			<i>Fabio Baudrit (1970-72)</i>		
	Qobs	Qest	°/o Dif	Qobs	Qest	°/o Dif
Enero	405,7	407,7	0,5	411,7	450,5	9,4
Febrero	482,7	464,8	- 3,7	503,7	500,7	- 0,6
Marzo	439,3	421,6	- 4,0	485,0	462,7	- 4,7
Abril	447,0	403,0	- 9,8	485,3	459,3	- 5,3
Mayo	412,0	363,7	-11,7	416,0	397,0	- 4,6
Junio	373,5	326,4	-12,6	381,7	375,2	- 1,7
Julio	365,8	329,7	- 9,8	386,7	369,4	- 4,5
Agosto	385,0	343,3	-10,8	392,7	371,4	- 5,4
Setiembre	371,0	323,5	-12,8	410,3	368,0	-10,3
Octubre	352,7	331,0	- 6,5	397,7	378,5	- 4,8
Noviembre	340,3	342,3	0,6	383,7	403,0	5,2
Diciembre	399,4	396,9	- 0,6	411,0	384,0	- 6,5

TABLA 2. Desviación cuadrática media de la fórmula de Swartman y Ogunlade (1966) utilizada en la predicción de la radiación global en Costa Rica.

<i>Estación</i>	<i>Desviación cuadrática media</i>
Limón	28.7
Buenos Aires	32.8
Fabio Baudrit	24.3
Nicoya	33.8
Puntarenas	33.7
Media	30.7

<i>Puntarenas (1970-73)</i>			<i>Nicoya (1971-73)</i>			<i>Limón (1970-72)</i>		
Qobs	Qest	°/o Dif	Qobs	Qest	°/o Dif	Qobs	Qest	°/o Dif
425,0	447,5	5,3	413,0	471,4	+14,1	325,7	335,2	+ 9,1
494,0	489,3	- 0,9	480,0	504,9	+ 5,2	386,7	374,4	- 3,2
495,7	470,5	- 5,1	471,0	484,7	+ 2,9	+16,7	376,7	- 9,6
509,0	471,3	- 7,4	469,7	476,9	+ 1,5	432,0	395,6	- 8,4
444,7	406,2	- 8,6	400,7	407,3	+ 1,6	405,0	374,1	- 7,6
399,7	386,0	- 3,4	398,3	377,9	- 5,1	343,7	346,4	+ 0,8
389,7	370,2	- 5,0	396,0	390,6	- 1,4	360,3	326,4	- 9,4
430,3	395,6	- 8,1	417,0	400,6	- 3,9	370,7	367,5	- 0,9
424,3	378,5	-10,8	370,0	367,5	- 0,67	379,3	371,4	- 2,1
387,0	388,4	+ 0,37	340,3	365,0	+ 7,3	396,3	395,6	- 0,2
374,7	401,5	+ 7,1	361,7	403,0	11,4	329,7	375,6	+13,9
360,0	430,7	+ 9,7	380,3	460	+20,9	299,7	349,4	+16,6

TABLA 3. Valores del coeficiente de correlación lineal, r , con base en la ecuación de regresión $Q/Q_0 = a + b X$. Q y Q_0 son la radiación global en un plano horizontal en la superficie de la Tierra y la radiación horizontal en el tope de la atmósfera, respectivamente, X es un parámetro meteorológico.

<i>Estación</i>	<i>h (M)</i>	<i>Período</i>	<u><i>Horas de sol</i></u> <i>r</i>	<u><i>Humedad relativa</i></u> <i>r</i>
Limón	5	1970-72	0.79	0.70
Fabio Baudrit	840	1970-72	0.95	0.66
Buenos Aires	350	1972-74	0.93	0.57
Nicoya	55	1971-73	0.93	0.83
Puntarenas	3	1970-72	0.78	0.70

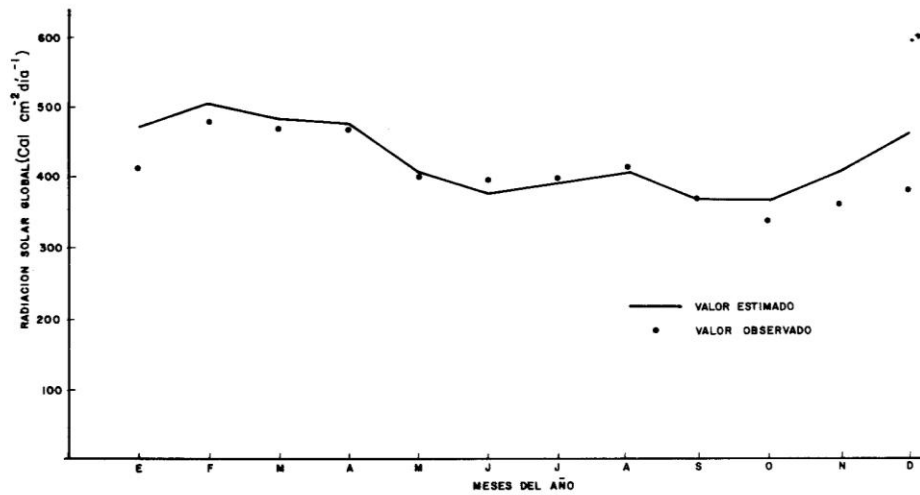


Fig. Nº1. Estimación de la radiación solar global en Nicoya (1971-1973), utilizando el método de Swartman y Ogunlade (1966).

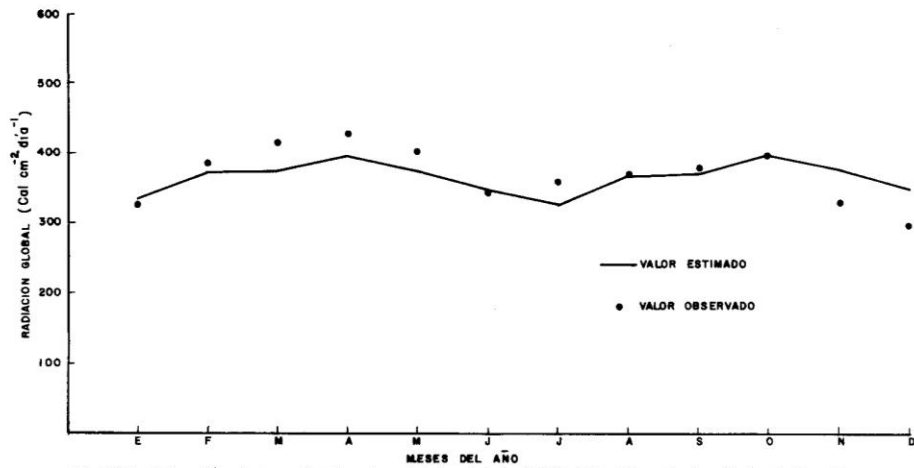


Fig. Nº2. Estimación de la radiación solar global en Limón (1970-72) utilizando el método de Swartman y Ogunlade. (1966)

fanía relativa, n , en la ecuación (I) de Swartman y Ogunlade. Podemos concluir lo siguiente:

a) En días de mucha humedad relativa (a cielo despejado) la radiación solar terrestre disminuye. Por consiguiente, cuando la atmósfera está cargada de humedad existe poca transmisividad de radiación solar.

b) En días de poca humedad relativa (a cielo despejado) la radiación so-

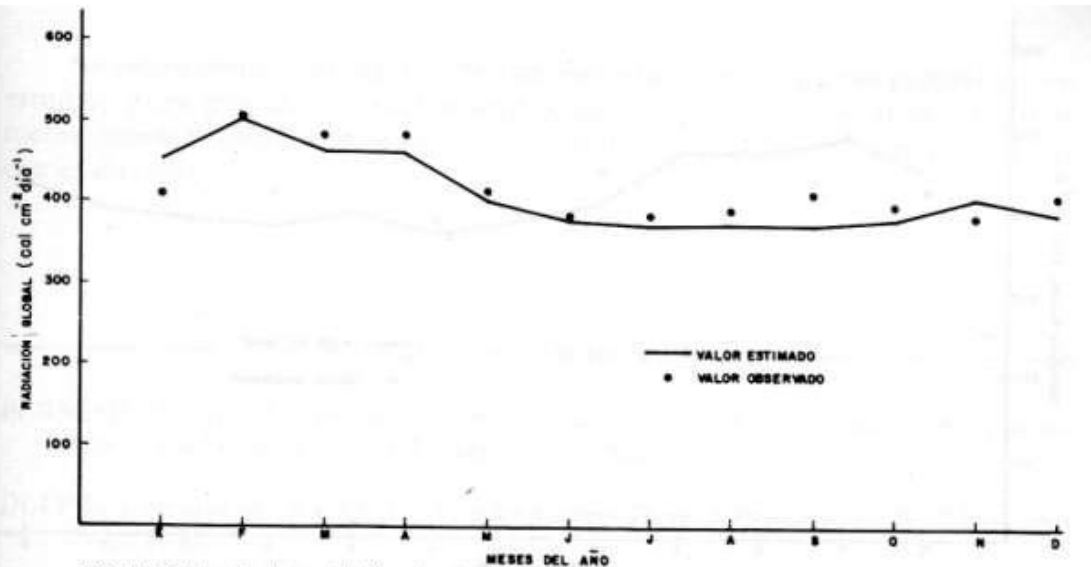


FIG. N°3 Estimación de la radiación solar global en la estación experimental Fabio Baudrit utilizando la fórmula de Swartman y Ogunlade. (1966).

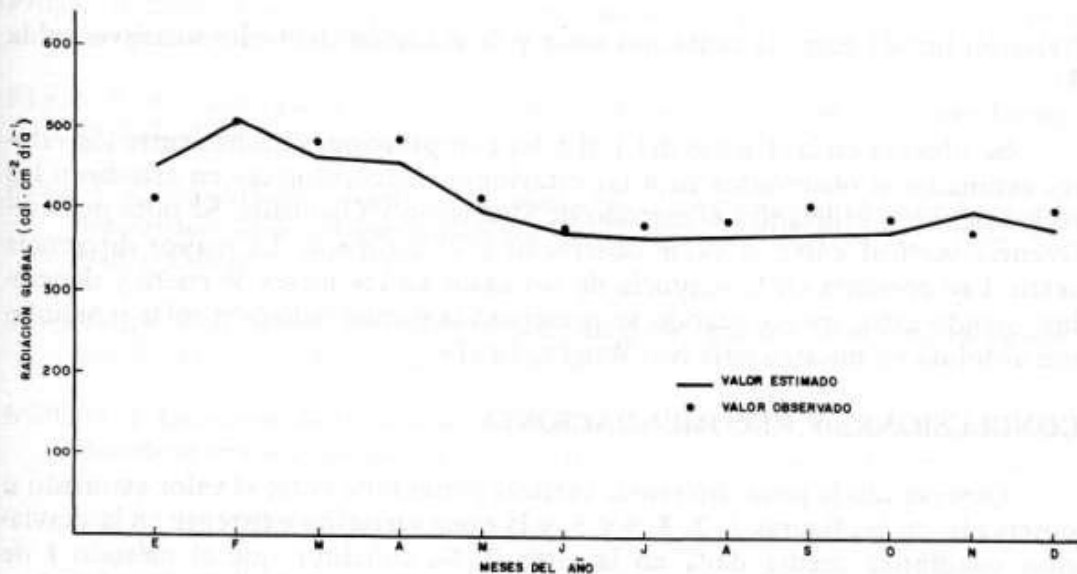


FIG. N°4. Estimación de la radiación solar global en la estación experimental Fabio Baudrit (1970-72) utilizando la fórmula Swartman y Ogunlade (1966).

lar global que llega al suelo aumenta, porque existe mucha transmisividad de radiación solar terrestre.

c) En días totalmente despejados, la radiación solar terrestre aumenta y disminuye en días nublados.

d) Con base en lo anterior existe una relación inversa parabólica entre la radiación solar y la humedad relativa y una relación directamente proporcional

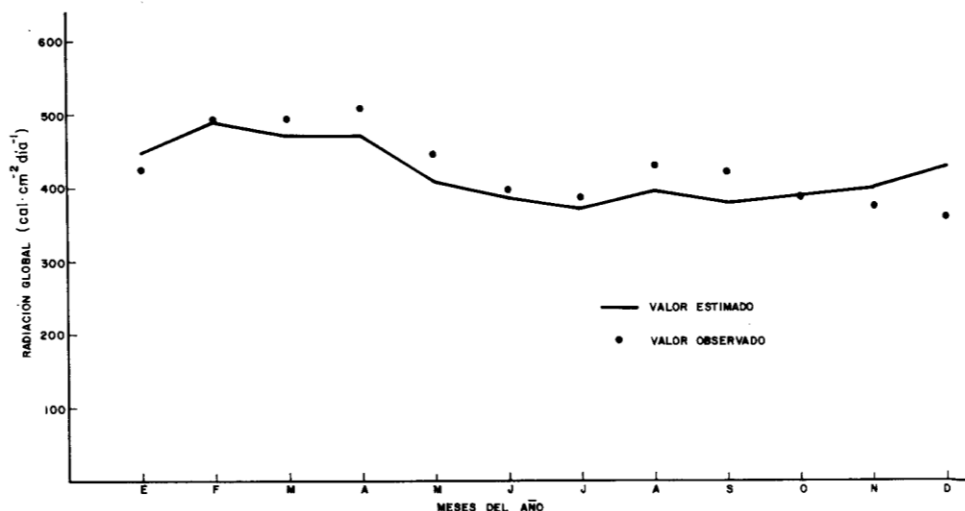


FIG. N°5. Estimación de la radiación solar global en Puntarenas (1970-72) utilizando la fórmula de Swartman y Ogunlade. (1966).

(relación lineal) entre la radiación solar y la duración del brillo solar (ver tabla 3).

Se observa en las figuras del 1 al 5 las comparaciones hechas entre los valores estimados u observados para las estaciones meteorológicas en estudio y los meses del año, utilizando el método de Swartman y Ogunlade. Se nota poca diferencia vertical entre el valor observado y el estimado. La mayor diferencia vertical se presenta en la mayoría de los casos en los meses de enero y diciembre, siendo estos meses cuando se presentan la menor radiación solar y heliofania absoluta en nuestro país (ver Wright, 1981).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Observando la poca diferencia vertical presentada entre el valor estimado u observado en las figuras 1, 2, 3, 4 y 5, y la poca variación existente en la desviación cuadrática media dada en la tabla 2. Se concluye que el método I de Swartman y Ogunlade emerge como un buen predictor de la radiación global en Costa Rica, cuando no se cuentan con mediciones directas.

El porcentaje de diferencia entre el valor estimado u observado se encuentra dentro del ± 10 % aceptable, dada la precisión del aparato u errores sistemáticos introducidos por el observador.

Además se analizó la correlación lineal existente entre la radiación solar global y los dos parámetros meteorológicos (brillo solar y humedad relativa) que se miden en cualquier estación meteorológica del país. Se obtuvo una correlación lineal entre la radiación global y el brillo solar, sin embargo, la humedad relativa presentó en la mayoría de los casos un coeficiente de determinación menor del 50 %.

Se recomienda la aplicación de este método en esas regiones geográficas en estudio, pues permite la rápida predicción de la radiación solar global diaria media mensual sobre una superficie horizontal, cuando no se cuenta con mediciones directas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BENNETH, I. Correlation of daily insolation with daily total sky cover, opaque and percentage of possible sunshine. *Sol. Energy*. 12, 3. 1969.
- DUFFIE, J. A. and BECKMAN, W. A. *Solar Energy Thermal Processes*. P. 21. Willey. New York. 1974.
- FLOCAS, A. A. Estimation and prediction of solar global radiation over Greece. *Solar Energy*. 24, 63-70. 1980.
- FRITZ, S. Solar radiation energy and its modification by the earth and its atmosphere. *Comp. Meteorol. Am. Met. Soc.* 1951.
- KLEIN, S. A. Calculation of Monthly Average Insolation on tilted surfaces. *Solar Energy*. 19, 325. 1976.
- PAGE, J. K. Estimation of Monthly mean values of daily total radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitude 40 N – 40 S. *Proc. U.N. Conf. New Sources Energy*. 4, 378. 1964.
- SMARTMAN, R. K. and OGUNLADE, O. *Solar radiation estimates from common parameters*. Solar Energy Conf. Tempe. Arizona. 1966.
- WRIGHT, J. *Estimación de la radiación solar global en Costa Rica, utilizando horas de sol y otros datos meteorológicos*. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica. 1981.