

ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL EN COSTA RICA UTILIZANDO EL PARAMETRO METEOROLOGICO DEL NUMERO DE DIAS CON PRECIPITACION

I. INTRODUCCION

Las estaciones que miden directamente la radiación solar en Costa Rica son muy pocas para la gran variedad climática, especialmente por la necesidad que la

*Jaime Wright Gilmore*¹

RESUMEN

Este trabajo intenta relacionar la radiación solar y el número de días con precipitación, con el fin de hallar una técnica que permita la estimación de la radiación solar global cuando no se encuentra con mediciones directas.

Se obtiene -como mejor método- una relación no lineal entre los valores diarios medios mensuales de la radiación global y el número de días con precipitación, con resultados satisfactorios en todas las estaciones actinométricas analizadas en este estudio.

Se recomienda para futuros estudios, probar la aplicabilidad de este modelo estadístico en otras estaciones actinométricas de Costa Rica, esto permitiría la

1. Departamento de Física. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

estimación de la radiación solar global cuando no se cuenta con mediciones directas; con la ventaja de que se puede aplicar a las numerosas estaciones que disponen de datos de precipitación en el país.

ABSTRACT

The purpose of this paper, is to relate the solar radiation and the number of days with precipitation with the aim to find a technique that permits the estimation of the global solar radiation when these are not available.

It is found a non -linear relation as the best between the global solar radiation and the number of ... with precipitation with satisfactories results in all the global solar radiation when these are not available.

It is recommended for future work, to prove the applicability of this statistical model in other actinometric stations of Costa Rica. This would allow one to estimate the global solar radiation in locations lacking with actinometric stations, but having the precipitation data.

1. INTRODUCCION

Las estaciones que miden directamente la radiación solar en Costa Rica son muy pocas para la gran variabilidad climática, especialmente por la nubosidad, que la orografía produce en el país. Es necesario, por lo tanto, hallar relaciones estadísticas entre la radiación solar medida en estas estaciones y el parámetro meteorológico del número de días con precipitación, que se mide usualmente en un número mayor de estaciones de la red observacional. Estas relaciones estadísticas con mediciones de radiación, permitirán, entonces, la estimación de la radiación solar en lugares donde no se mide, a partir del parámetro meteorológico del número de días con precipitación.

Datos de los valores diarios medios mensuales de la radiación solar global en una localidad, es de un uso significativo en el diseño de la mayoría de los equipos que utilizan energía solar. Actualmente las mediciones de insolación son generalmente realizadas en pocos lugares, debido al costo de los equipos requeridos y al cuidado que se necesita para su mantenimiento.

Varios intentos, sin embargo, se han realizado para desarrollar relaciones estadísticas para estimar la insolación basados en varios parámetros climáticos; la mayoría de los cuales son medidas, usualmente, en muchas localidades.

Angström (1924) usando la radiación solar en un día claro, sugirió la utilización del porcentaje de brillo solar, que depende de la nubosidad, como un parámetro para la estimación de la radiación. Lünd (1968), correlacionó 9 años de observación de

insolación con mediciones de temperatura, viento, nieve, horas de sol, nubosidad, presión y precipitación en Blue Hill, Massachusetts. Halló que las observaciones de las horas de sol, es el mejor predictor de la insolación para todos los meses del año.

Por otra parte Norris (1968), encontró una buena correlación entre la cantidad y el tipo de las nubes y la insolación, Wright (1980a y 1980b), halló correlaciones lineales entre la radiación solar y el número de horas de brillo solar, humedad relativa, número de días, con precipitación y temperaturas máximas, concluyó que la duración del brillo solar es el mejor predictor de la radiación global en Costa Rica; sin embargo, encontró, que en los restantes tres parámetros climáticos, el coeficiente de correlación lineal dio resultados pobres en cinco estaciones de las diez analizadas, lo que no permitió la aplicabilidad general en Costa Rica.

Muy pocos estudios, sin embargo, se han realizado para hallar relaciones estadísticas entre la radiación solar y el número de días con precipitación.

El objetivo de la presente investigación, es establecer relaciones para la estimación de la radiación solar global, utilizando el número de días con precipitación como predictor. Y para lograr este propósito, se utilizarán datos de radiación global y el número de días con precipitación en diez localidades de Costa Rica.

2. DATOS EXPERIMENTALES Y METODOLOGIA UTILIZADA

En el presente trabajo se utilizaron los datos de los valores diarios medios mensuales de la radiación solar global ($MJ/m^2 \cdot día$) y el número de días con precipita-

Cuadro 1

Fuentes de datos y registros utilizados en la estimación de la radiación solar global en Costa Rica.

ESTACIONES	LATITUD (N)	LONGITUD (W)	ALTITUD (M) (M.S.N.M.)	REGISTRO UTILIZADO
Volcán Irazú	9°53'	83°50'	3400	1972-1973
San José	9°58'	84°54'	1172	1972-1974
Fabio Baudrit	10°01'	83°15'	840	1970-1972
Buenos Aires	9°11'	83°20'	350	1972-1974
Santa Rosa	10°50'	85°37'	315	1972-1974
Nicoya	10°9'	85°27'	120	1971-1973
Palmar Sur	8°57'	83°15'	16	1978-1979
Limón	10°00'	83°03'	5	1970-1972
Puntarenas	9°58'	84°50'	3	1970-1972
Playa Panamá	10°35'	85°40'	3	1979- ?

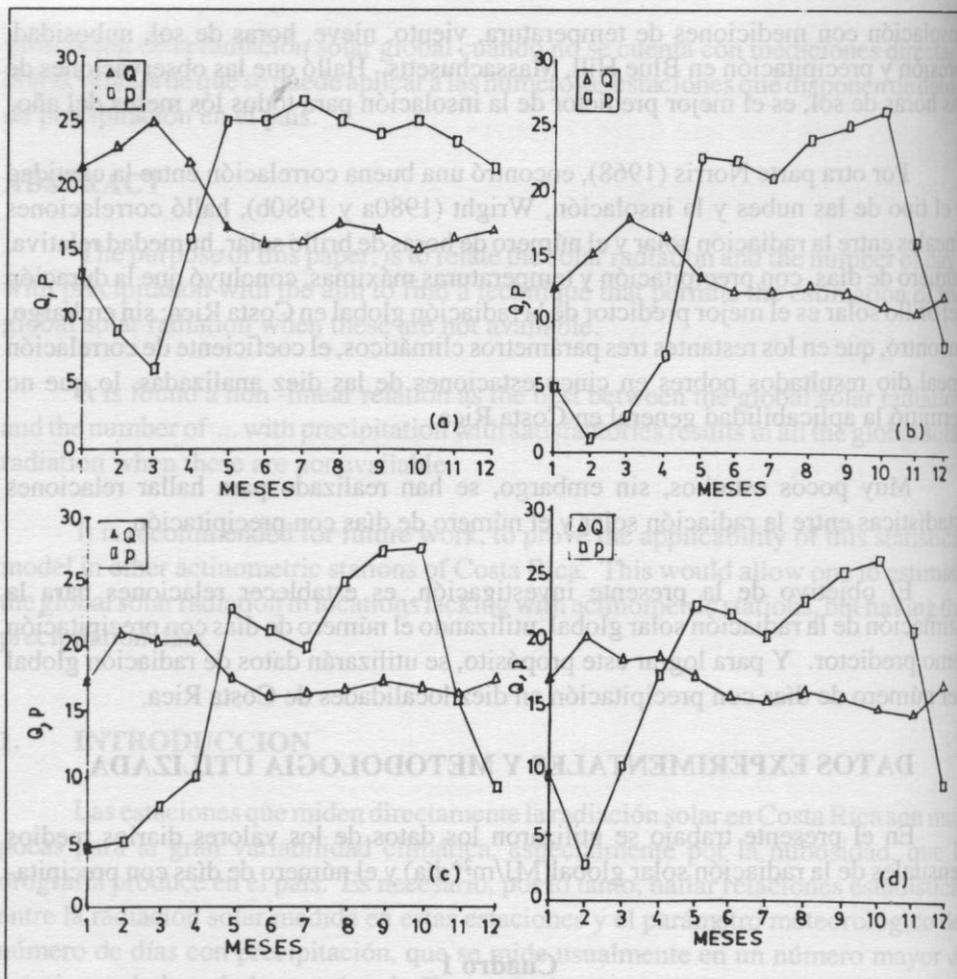


Figura 1 (a, b, c, d). Variación anual de los valores diarios medios mensuales de la radiación solar global Q, y el número de días con precipitación p, para (a) Volcán Irazú, (b) San José, (c) Fabio Baudrit, (d) Buenos Aires.

ción (a partir de una precipitación mayor de 0 mm.), recolectados por el Instituto Meteorológico Nacional para diez localidades de Costa Rica (Cuadro 1), como se ilustran en las figuras 1 a 3: la variación anual de los valores diarios medios mensuales de la radiación solar global y el número de días con precipitación.

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 por el Instituto Costarricense de Electricidad, mediante el actinógrafo Robytzch bimetalico. Se sabe que estos instrumentos no son los mejores para observar la radiación y necesitan frecuentes calibraciones. Basados en que estos

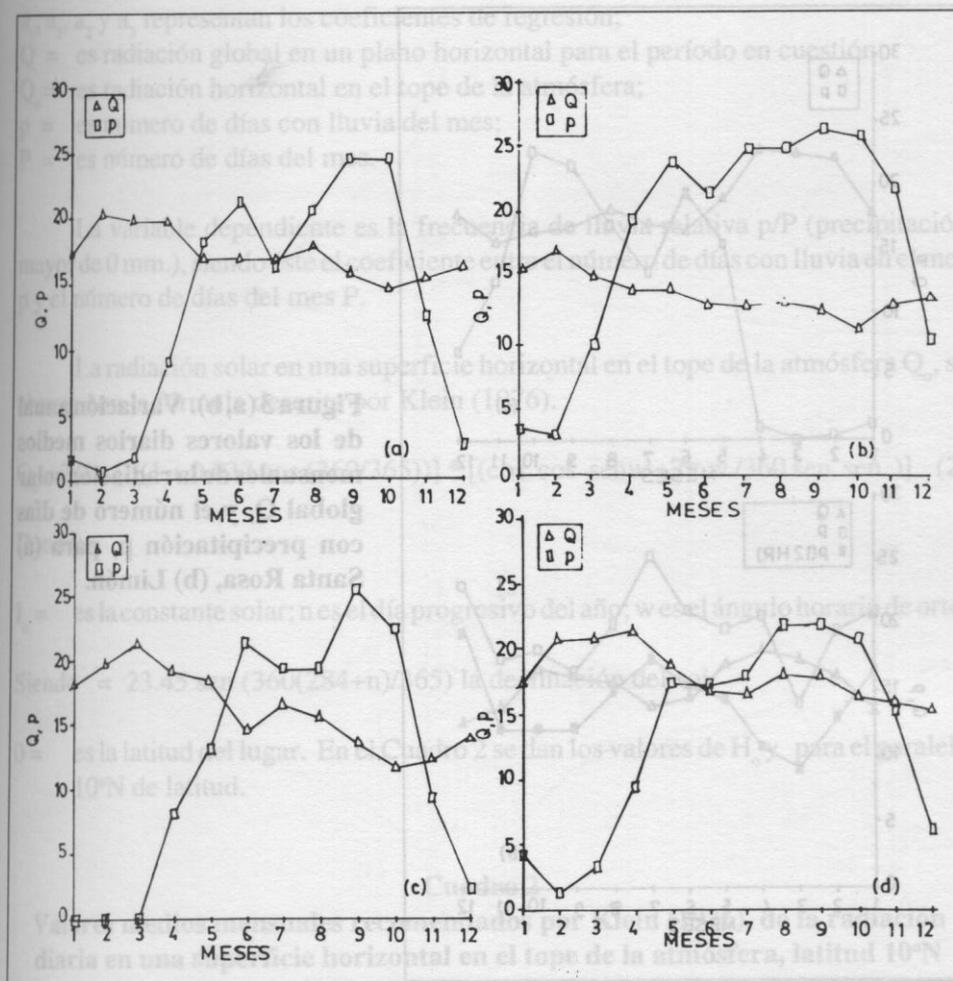


Figura 2 (a, b, c, d). Variación anual de los valores diarios medios mensuales de la radiación solar global Q, y el número de días con precipitación p, para (a) Nicoya, (b) Palmir Sur, (c) Playa Panamá, (d) Puntarenas.

instrumentos se deterioran y pierden gran sensibilidad con el tiempo, en todos los cálculos se han utilizado los datos de períodos no mayores de tres años después de la instalación de los instrumentos.

Las estaciones pluviométricas del país, en su mayoría, solamente realizan una medición al día, de la precipitación que se ha recogido en el pluviómetro durante las veinticuatro horas, que preceden a la hora de observación. Actualmente está establecido que en todas las estaciones pluviométricas la medición del agua recogida se realice a las 07:00 del día siguiente. Por otra parte, las estaciones pluviográficas registran horariamente la precipitación acumulada en períodos de cinco, diez, quince

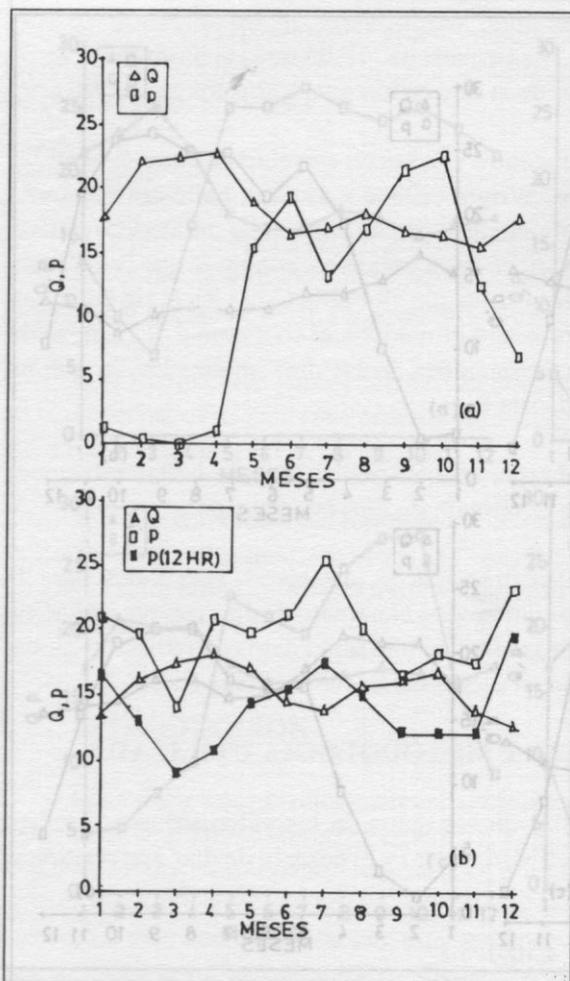


Figura 3(a, b). Variación anual de los valores diarios medios mensuales de la radiación solar global Q, y el número de días con precipitación p, para (a) Santa Rosa, (b) Limón.

y treinta minutos: una, dos, seis, doce y 24 horas para cada mes del año. Por consiguiente, en este trabajo se procederá a relacionar los datos recolectados por las estaciones pluviométricas -porque son las que tienen la red de información más densa del país- con los de la radiación solar global.

Un análisis de regresión fue elaborado para cada estación, utilizando 12 puntos, uno para cada mes. Una curva no lineal de los mínimos cuadrados de la forma de la Ecuación (1), fue hallada como el mejor estimador de la radiación solar global en Costa Rica.

$$Q/Q_0 = a_0 + a_1*(p/P) + a_2*(p/P)^2 + a_3*(p/P)^3, \quad (1)$$

Donde:

a_0, a_1, a_2 y a_3 representan los coeficientes de regresión;
 Q = es radiación global en un plano horizontal para el período en cuestión;
 Q_0 = es radiación horizontal en el tope de la atmósfera;
 p = es número de días con lluvia del mes;
 P = es número de días del mes.

La variable dependiente es la frecuencia de lluvia relativa p/P (precipitación mayor de 0 mm.), siendo éste el coeficiente entre el número de días con lluvia en el mes p y el número de días del mes P .

La radiación solar en una superficie horizontal en el tope de la atmósfera Q_0 , se obtuvo con la fórmula descrita por Klein (1976).

$$Q_0 = 24/\pi [I_0(1 + 0.033 \cos(360/365))] * [(\cos \theta \cos \phi \cos w + \sin \theta \sin \phi)] \quad (2)$$

Donde:

I_0 = es la constante solar; n es el día progresivo del año; w es el ángulo horario de orto.

Siendo $\theta = 23.45 \sin(360(284+n)/365)$ la declinación del sol.

$\phi = 10^\circ$ es la latitud del lugar. En el Cuadro 2 se dan los valores de H_0 y θ para el paralelo $10^\circ N$ de latitud.

Cuadro 2

Valores medios mensuales recomendados por Klein (1976), de la radiación diaria en una superficie horizontal en el tope de la atmósfera, latitud $10^\circ N$ (constante solar $4373 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$) en unidades de $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$.

MES	NUMERO DE MES	DIA DEL MES	DIA DEL AÑO	DECLINACION DEL SOL	RADIACION SOLAR
Enero	1	17	17	-21	31.65
Febrero	2	16	47	-13	34.20
Marzo	3	16	75	-2	36.50
Abril	4	15	105	9	37.47
Mayo	5	15	132	19	37.17
Junio	6	11	162	23	36.59
Julio	7	17	198	21	36.67
Agosto	8	16	228	13	37.09
Set.	9	15	288	-10	34.70
Octubre	10	15	288	-10	34.70
Nov.	11	14	318	-19	32.15
Dic.	12	10	344	-23	30.72

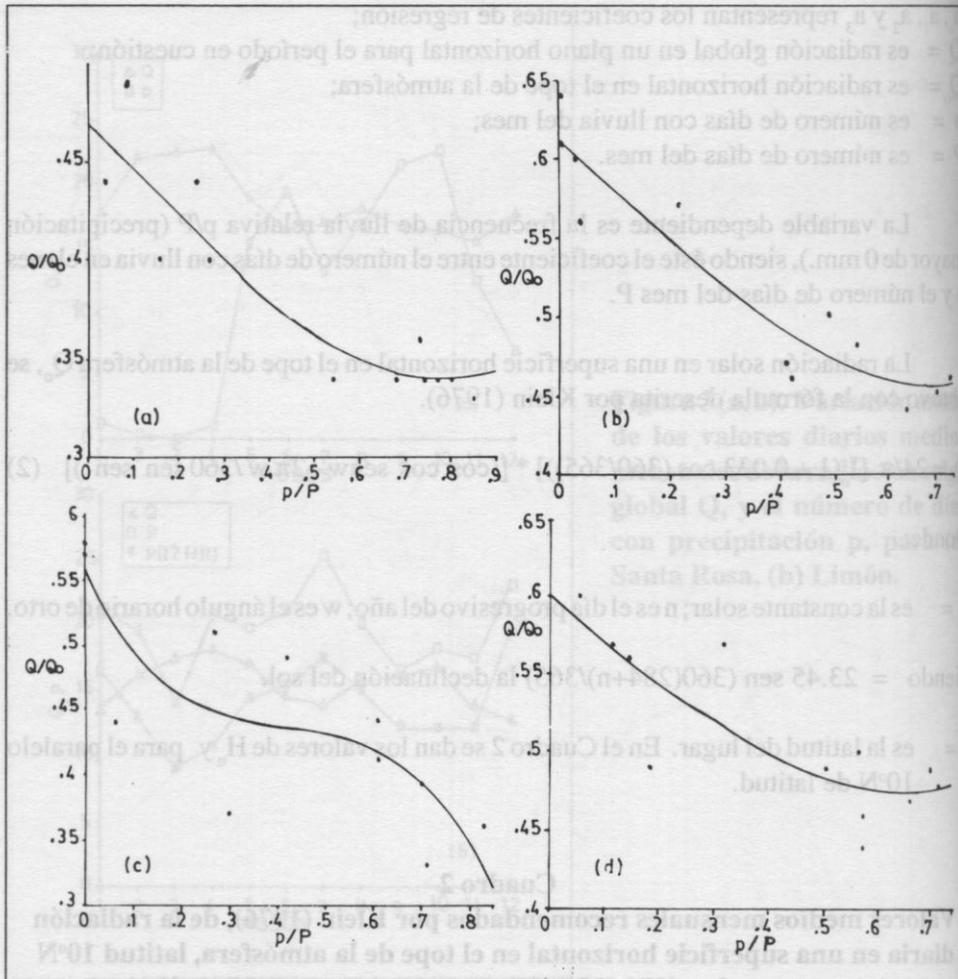


Figura 4 (a, b, c, d). Cociente entre la radiación solar global diaria media mensual en el suelo Q , y la radiación extraterrestre, Q_0 , ambas en una superficie horizontal, en función de la frecuencia de lluvia relativa, p/P , para (a) San José, (b) Santa Rosa, (c) Playa Panamá, (d) Puntarenas.

3. RESULTADOS

Los valores obtenidos por los coeficientes a_0 , a_1 , a_2 y a_3 , el coeficiente de correlación r , el error de la raíz media cuadrática RMSE, el error de la desviación media MBE y el error porcentual medio MPE se presentan en el Cuadro 3.

Gráficas de la radiación global relativa mensual, Q/Q_0 , en función de la frecuencia de lluvia relativa, p/P , se ilustran en las Figuras 4 a la 6, en los que se representan las distintas líneas de regresión correspondientes a diferentes lugares de

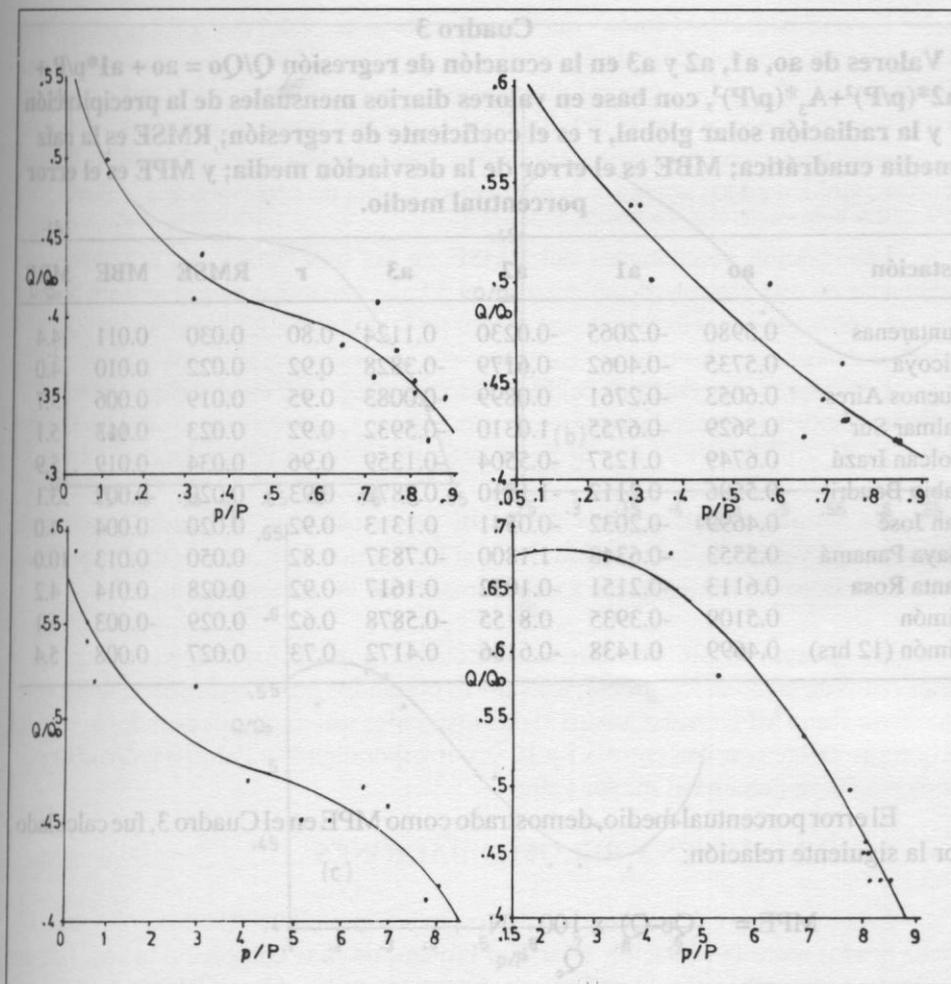


Figura 5 (a, b, c, d). Cociente entre la radiación solar global diaria media mensual en el suelo Q , y la radiación extraterrestre, Q_0 , ambas en una superficie horizontal, en función de la frecuencia de lluvia relativa, p/P , para (a) Palmar Sur, (b) Buenos Aires, (c) Nicoya, (d) Volcán Irazú.

Costa Rica. En las figuras 4 a la 6 se observa que la dispersión de los valores mensuales alrededor de la curva de regresión es variable en las distintas estaciones. Las mayores dispersiones corresponden a las estaciones de Limón (figuras 6a y 6b), Playa Panamá (figura 4c) y Puntarenas (4d), estaciones que se encuentran al nivel del mar y sobre la costa. El coeficiente de correlación de las tres estaciones mencionadas alcanzan valores de 0.62 y 0.73 (pluviógrafo) para Limón, 0.82 para Playa Panamá y 0.80 para Puntarenas. El mayor coeficiente de correlación, de las estaciones actinométricas analizadas en este estudio, alcanza a 0.96 en Fabio Baudrit.

Cuadro 3

Valores de a_0 , a_1 , a_2 y a_3 en la ecuación de regresión $Q/Q_0 = a_0 + a_1 * p/P + a_2 * (p/P)^2 + a_3 * (p/P)^3$, con base en valores diarios mensuales de la precipitación y la radiación solar global, r es el coeficiente de regresión; RMSE es la raíz media cuadrática; MBE es el error de la desviación media; y MPE es el error porcentual medio.

Estación	a_0	a_1	a_2	a_3	r	RMSE	MBE	MRE
Puntarenas	0.5980	-0.2065	-0.0230	0.1124	0.80	0.030	0.011	4.4
Nicoya	0.5735	-0.4062	0.6179	-0.3828	0.92	0.022	0.010	4.0
Buenos Aires	0.6053	-0.2761	0.0899	-0.0083	0.95	0.019	0.006	3.7
Palmar Sur	0.5629	-0.6755	1.0310	-0.5932	0.92	0.023	0.013	5.1
Volcán Irazú	0.6749	0.1257	-0.5504	-0.1359	0.96	0.034	0.019	5.9
Fabio Baudrit	0.5596	0.2112	-1.1510	0.8872	0.93	0.020	-0.007	3.1
San José	0.4699	-0.2032	-0.0541	0.1313	0.92	0.020	0.004	4.0
Playa Panamá	0.5553	-0.6348	1.1800	-0.7837	0.82	0.050	0.013	10.0
Santa Rosa	0.6113	-0.2151	-0.1022	0.1617	0.92	0.028	0.014	4.2
Limón	0.5109	-0.3935	0.8155	-0.5878	0.62	0.029	-0.003	6.1
Limón (12 hrs)	0.4699	0.1438	-0.6186	0.4172	0.73	0.027	0.008	5.4

El error porcentual medio, demostrado como MPE en el Cuadro 3, fue calculado por la siguiente relación:

$$MPE = \frac{(Q_e - Q) \times 100}{N \cdot Q_e}$$

Los signos negativos de los errores individuales no son tomados en cuenta en la sumatoria de la Ecuación (3), y todos los errores son sumados para calcular el valor medio.

El error en la raíz media cuadrática (RMSE) fue obtenido de la relación:

$$RMSE = \frac{1}{2} \sqrt{\sum (Q - Q_e)^2 / N} \quad (4)$$

el error en la desviación media (MBE) fue obtenido de la relación:

$$MBE = \sum (Q - Q_e) / N \quad (5)$$

Donde Q y Q_e representan respectivamente, los valores estimados y observados de la radiación global, N es el número total de observaciones. Cuando menor sea el RMSE,

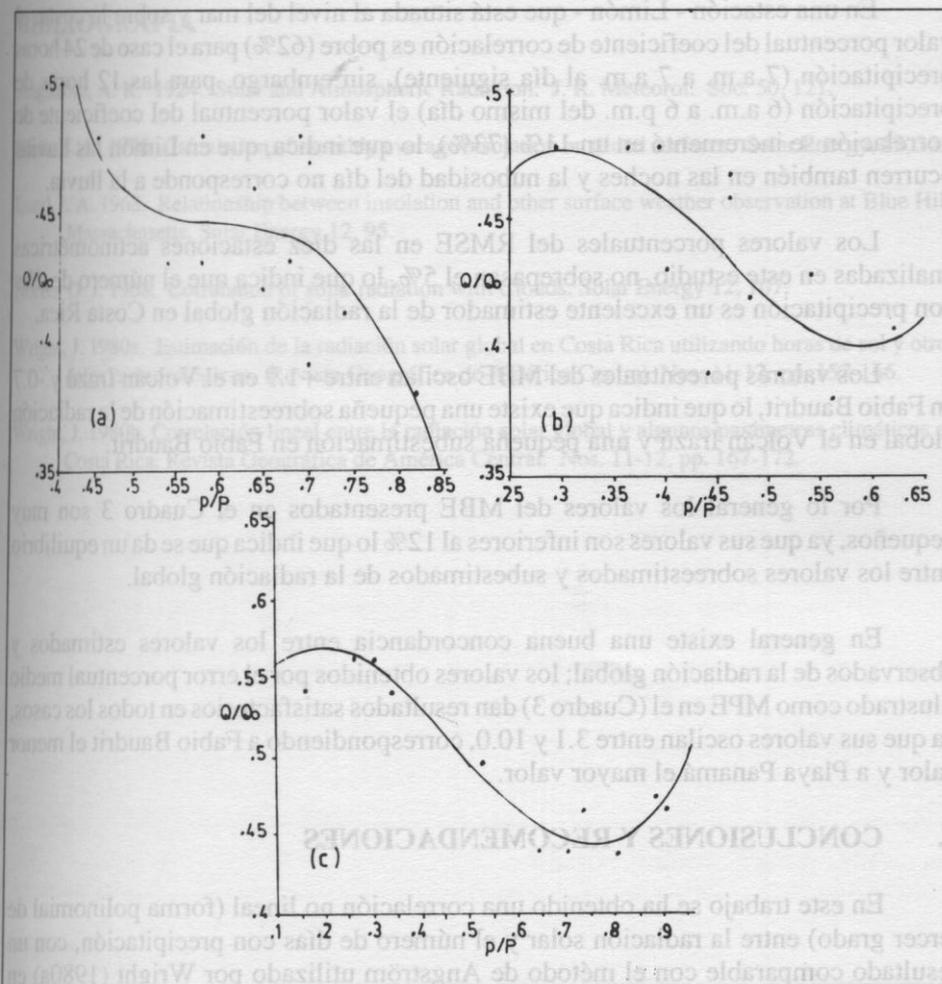


Figura 6 (a, b, c). Cociente entre la radiación solar global diaria mensual en el suelo Q , y la radiación extraterrestre, Q_0 , ambas en una superficie horizontal, en función de la frecuencia de lluvia relativa, p/P , para (a) Limón, (b) Limón (12 hr), (c) Fabio Baudrit.

más precisa es la estimación. Un valor positivo de MBE indica una subestimación y uno negativo indica una superestimación. Los resultados de este análisis son ilustrados en el Cuadro 3.

En el Cuadro 3, en nueve estaciones de las 10 analizadas, los coeficientes de correlación son mayores que 0.80, lo que da un coeficiente de determinación mayor del 64%. Este es un resultado comparable a los obtenidos por la fórmula de Angström (Wright, 1980a), con la ventaja de que se puede aplicar a las numerosas estaciones que disponen de datos de precipitación.

En una estación - Limón - que está situada al nivel del mar y sobre la costa, el valor porcentual del coeficiente de correlación es pobre (62%) para el caso de 24 horas precipitación (7 a.m. a 7 a.m. al día siguiente), sin embargo, para las 12 horas de precipitación (6 a.m. a 6 p.m. del mismo día) el valor porcentual del coeficiente de correlación se incrementó en un 11% (73%), lo que indica, que en Limón las lluvias ocurren también en las noches y la nubosidad del día no corresponde a la lluvia.

Los valores porcentuales del RMSE en las diez estaciones actinométricas analizadas en este estudio, no sobrepasan el 5%, lo que indica que el número de días con precipitación es un excelente estimador de la radiación global en Costa Rica.

Los valores porcentuales del MBE oscilan entre +1.9 en el Volcán Irazú y -0.7 en Fabio Baudrit, lo que indica que existe una pequeña sobreestimación de la radiación global en el Volcán Irazú y una pequeña subestimación en Fabio Baudrit.

Por lo general los valores del MBE presentados en el Cuadro 3 son muy pequeños, ya que sus valores son inferiores al 12% lo que indica que se da un equilibrio entre los valores sobreestimados y subestimados de la radiación global.

En general existe una buena concordancia entre los valores estimados y observados de la radiación global; los valores obtenidos por el error porcentual medio (ilustrado como MPE en el Cuadro 3) dan resultados satisfactorios en todos los casos, ya que sus valores oscilan entre 3.1 y 10.0, correspondiendo a Fabio Baudrit el menor valor y a Playa Panamá el mayor valor.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se ha obtenido una correlación no lineal (forma polinomial de tercer grado) entre la radiación solar y el número de días con precipitación, con un resultado comparable con el método de Angström utilizado por Wright (1980a) en algunas estaciones actinométricas de Costa Rica, con la ventaja de que se puede aplicar a las numerosas estaciones que disponen de datos con precipitaciones en el país.

Según el análisis estadístico, dado en el Cuadro 3, donde se calcula el error de la raíz media cuadrática (RMSE), el error de la desviación media (MBE), el error porcentual medio (MPE) y el coeficiente de correlación (r) de la ecuación de regresión del tipo de la ecuación (1), utilizada en la estimación de la radiación global en diez estaciones actinométricas (Cuadro 1). Los valores obtenidos del RMSE, MBE, MPE y r son satisfactorios, lo que indica que el número de días con lluvia es un buen predictor de la radiación global en Costa Rica.

Se recomienda para futuros trabajos, seguir probando la aplicabilidad de este modelo estadístico en otras estaciones actinométricas, esto permitiría la estimación de la radiación global en lugares que no existen datos actinométricos, con la ventaja de que se puede aplicar a las numerosas estaciones que disponen de datos de precipitación en el país.

BIBLIOGRAFIA

- Angström, A. K. 1924. Solar and Atmospheric Radiation. *J. R. Meteorol. Soc.* 50, 121.
- Klein, S. A. 1976. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar Energy*, 19, 325.
- Lund, I. A. 1968. Relationship between insolation and other surface weather observation at Blue Hill, Massachusetts. *Solar Energy* 12, 95.
- Norris, D. J. 1968. Correlation of solar radiation with Clouds. *Solar Energy* 12, 107.
- Wright, J. 1980a. Estimación de la radiación solar global en Costa Rica utilizando horas de sol y otros datos meteorológicos. *Revista Geográfica de América Central*. Nos. 11-12, pp. 157-166.
- Wright, J. 1980b. Correlación lineal entre la radiación solar global y algunos parámetros climáticos en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*. Nos. 11-12, pp. 167-172.

Manuel Antonio Solano Mayorga¹

RESUMEN

En Costa Rica los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han ido tomando más importancia en la solución de diferentes problemas, y éstos están siendo utilizados en diferentes campos, por ejemplo: en el manejo de cuencas hidrográficas, en el manejo y conservación de los recursos naturales, como también en los planes de desarrollo del uso del suelo. Fue el Laboratorio de SIG de la Facultad de Ciencias Geográficas el primero en dar a conocer estos programas en Costa Rica; como resultado fue el Laboratorio el gestor de la Primera Conferencia Latinoamericana sobre SIG y el Primer Simposio Latinoamericano en SIGs, en la actualidad son diversas las instituciones que cuentan con equipo y SIG; de tal modo que se hace necesario un documento que divulgue información del siguiente tipo: definición de los SIGs, en qué consisten los SIGs, qué tipos existen, qué tipos de datos espaciales manejan, y qué tipos de aplicaciones pueden tener.

¹ Coordinador del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Facultad de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional.