

Estudio de la variabilidad espacial y temporal de la heliofanía relativa en Costa Rica

JAIME WRIGHT¹

Departamento de Física, Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica

(Recibido 10 de abril 2003, aceptado 2 de junio de 2003)

Abstract

This paper study the spatial and temporal variability of the insolation in Costa Rica territory using sunshine index maps generated by "kriging", being kriging a technique of linear interpolation by geostatistics methods. Also, the values of the sunshine index are compared to the dry and the rainy seasons in the well defined climatic regions of our country: Central Valley, North Pacific, Central Pacific, South Pacific, North and Caribbean regions. The sunshine index is defined as the ratio between real and possible hours of sunshine. In the generation of maps of sunshine index, the registries of hours of solar brightness of 95 scattered weather stations in all the Costarrican territory were used. The observed average daily levels oscillate between 0.10 and 0.87, depending on place and month. In all months of the year, in the North Pacific region the higher values are found. The lowest values are found in the Northeast side of the Central Mountain Range, the high river basins of Sarapiquí, San Carlos and Sucio rivers, also in the high river basins of the Reventazón River in the mountain range of Talamanca.

1. Introducción

En este trabajo se utilizó la técnica kriging de interpolación lineal por métodos geoestadísticos en el trazado de los mapas de heliofanía relativa del territorio costarricense. La técnica kriging se inició en el ámbito de la resolución de los problemas de estimación de los parámetros geofísicos en la estadística minera en un yacimiento (Journel y Huijbregts 1978), a partir de un número pequeño de muestras del suelo. Kriging es ampliamente recomendado en la tarea de interpolación de la red de observaciones radiométricas de algunos países europeos y centroamericanos (Beyer *et al.* 1997, Aguiar 1999, Wright, J. (Ed.) 1999). Aplicaciones adicionales en el campo de la radiación solar de la técnica kriging fueron descritas anteriormente por Zelenka y Lazic (1987) y Zelenka (1994). Kriging es también utilizada en la generación de los mapas de radiación solar en Suiza (Kunz

y Remund 1995).

La heliofanía representa la duración del brillo solar u horas de sol, y esta ligada al hecho de que el instrumento utilizado en su medición el heliógrafo, registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa. La ocurrencia de nubosidad determina que la radiación recibida por el instrumento sea radiación solar difusa, interrumpiéndose el registro. Por lo tanto, si bien hay energía incidente disponible, la concentración o densidad de la misma no es suficiente para ser registrada. Por ejemplo si el valor de la radiación que incide sobre el heliógrafo es inferior al valor umbral (150 W/m², aproximadamente), entonces las bandas del heliógrafo no se quemar y éstas no registran las horas del sol.

A pesar de lo expresado, la duración del brillo solar esta muy relacionada con la radiación solar global incidente. Esto es importante dado que se logra caracterizar una localidad sobre la base de registros históricos de este

Dirección para correspondencia: Jaime Wright M. Sc. Departamento de Física, Universidad Nacional, Apdo. 86-3000 Heredia, Costa Rica.
E-mail: jwright@una.ac.cr

Tabla 1. Observaciones del número de horas de brillo solar.

No	Estación	Lat	Long	Alt(m)
1	28 Millas	10 06	83 33	40
2	Aerop. J. Santamaría	10	84.20	932
3	Agua Caliente	9 50	83 55	1325
4	American Flowers	10 01	84 11	1100
5	Bajos Los Cartagos	10 38	84 57	560
6	Bancal	10 20	85 09	40
7	Berlin San Ramón	10 01	83 52	50
8	Bijagual	9 45	84 34	435
9	Boca Arenal	10 32	84 28	90
10	Boston	10 00	83 15	16
11	Bribri	9 38	82 50	32
12	Cagas La Pacífica	10 25	85 05	60
13	Cariblanco	10 16	84 11	970
14	Carolina Tica Guápiles	10 25	83 44	30
15	Cedral	9 22	83 33	1450
16	Chicoa	9 58	83 52	3090
17	Cobal	10 15	83 40	55
18	Coliblanco	9 57	83 48	2200
19	Coope Silencio	9 25	84 02	10
20	Coope Tierra Blanca	9 55	83 54	2100
21	Coopesca	10 20	84 26	100
22	Copey de Dota	9 39	83 55	1900
23	Coto 47	8 36	82 59	8
24	Cot de Cartago	9 52	83 51	1800
25	Cubujuqui Las Horquetas	10 14	83 58	340
26	Curia	10 21	83 41	40
27	Damas	9 29	84 12	6
28	Dulce Nombre	9 50	83 55	1345
29	El Chato	10 26	84 42	740
30	Fabio Baudrit	10 01	84 16	840
31	Finca El Ensayo	10 58	85 24	610
32	Finca Santa Cecilia	10 03	85 25	340
33	Florex	9 44	83 57	2440
34	Fraijanes	10 09	84 12	1640
35	Frutipaquera	9 48	84 55	14
36	Hacienda Alemania	11 05	85 27	290
37	Hacienda Cachí	9 50	83 48	1100
38	Hacienda El Carmen	10 12	83 29	15
39	INA Pérez Zeledón	9 20	83 42	700
40	Ingenio Taboga	10 22	85 12	10
41	Instituto Tecnológico	9 52	83 45	1395
42	La Fortuna San Carlos	10 28	84 39	250
43	La Guinea	10 25	85 28	46
44	La Lola	10 06	83 23	40
45	La Luisa Sarchí	10 08	84 20	1250
46	La Margarita	9 54	83 43	1080
47	La Mola	10 21	83 46	70
48	La Mola 2	10 17	83 35	50
49	La Piñera	9 11	83 20	350
50	La Rebusca	10 29	84 01	26
51	La Trinidad	9 13	83 23	570
52	Las Delicias	10 10	83 35	200
53	Liberia	10 37	85 26	144
54	Liberia Llano Grande	10 36	85 32	80
55	Limón	10	83 03	3
56	Linda Vista El Guarco	9 50	83 58	1400
57	Los Chiles	11 02	84 43	55
58	Los Diamantes	10 13	83 46	249
59	Macaloha	10 05	83 36	500
60	Metodista Tersalia	10 21	84 24	600
61	Monte Líbano Batán	10 04	83 19	20
62	Montezuma	10 42	85 05	519
63	Muelle San Carlos	10 28	84 28	60
64	Nicoya	10 09	85 27	120
65	Pacayas	9 55	83 49	1735
66	Palmar Sur	8 57	83 28	16
67	Palmira	10 13	84 23	2010
68	Pindeco	9 08	83 20	397
69	Playa Panamá	10 35	85 40	3
70	Punta Leona	9 42	84 40	20
71	Puntarenas	9 59	84 46	3
72	Puriscal	9 51	84 19	1102
73	Repunta	9 18	83 39	580
74	Río Cuarto Grecia	10 25	84 10	180
75	Río Frío Finca 6	10 18	83 47	100
76	Sabanilla	9 57	84 03	1200
77	Samara	9 53	85 32	3
78	San José	9 56	84 05	1172
79	Sanatorio Durán	9 56	83 53	2337
80	Santa Lucia.	10 01	84 07	1200
81	Santa Clara	10 22	84 31	170
82	Santa Cruz	10 16	85 35	54
83	Santa Rosa	10 50	85 37	315
84	Sitios Matas Turrialba	9 52	83 37	900
85	Tablas	8 56	83 07	360
86	Taboga	10 21	85 09	40
87	Tinamaste	9 18	83 47	680
88	Tronadora	10 30	84 54	530
89	Turrialba, CATIE	9 53	83 38	602
90	Turrúcares	9 58	84 19	639
91	Upala	10 54	85 01	50
92	Valle Escondido	10 35	85 06	300
93	Volcán Angel	9 14	83 27	400
94	Volcán	9 12	83 27	418
95	Volcán Irazú	9 59	83 51	3400

TOPICOS METEOROLOGICOS Y OCEANOGRAFICOS

tipo de instrumentos (heliógrafo) dado que estos son económicos, robustos y requieren mínimo mantenimiento. La importancia de los registros de horas de

Hemisferio Norte entre 8° 15' - 11° 00' N y 83° 30' - 86° 00' W, forma parte del Istmo Centroamericano y esta bordeado por el Mar Caribe por el Este y el Océano

Tabla 2. Valores de la declinación solar δ y el número de horas de sol posibles N para Costa Rica (valor medio mensual)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
δ (grados)	-20.9	-12.9	-2.0	9.6	18.7	23.0	21.2	13.8	2.9	-8.7	-18.4	-23.0
N (horas)	11.48	11.69	11.95	12.21	12.46	12.57	12.52	12.31	12.00	11.76	11.54	11.42

insolación reside en la correlación encontrada entre sus valores promedios y los promedios del índice de claridad K_T , también conocido como índice de transparencia de la atmósfera (cociente entre el promedio de la radiación global medida en la tierra y el promedio de la radiación extraterrestre para el mismo lugar y la misma época del año). Sin embargo, no puede ser establecida cuando se trata de valores diarios dada la diversidad de factores que inciden sobre la respuesta gráfica del heliógrafo.

Los mapas de heliofanía relativa adquieren su importancia fundamental cuando se piensa en la planificación de actividades tales como: la agricultura, el turismo, la planificación urbana y la posible utilización directa de la energía solar.

Pacífico por el Oeste. La Figura 1 ubica las 95 estaciones meteorológicas, obtenidas de los archivos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), que se escogieron en la elaboración de los mapas de heliofanía relativa. La Tabla 1 detalla el nombre y el número correspondiente a cada estación asociada a la figura 1, la ubicación por latitud, la ubicación por longitud y la elevación sobre el nivel del mar.

El valor de heliofanía relativa (n/N) es calculada dividiendo el número de horas de sol reales n por el número de horas de sol posibles N para la localidad específica de cada Estación Experimental.

El número de horas de sol posibles, N , se obtuvo de la fórmula propuesta por Cooper (1969).

2. Materiales y métodos

Costa Rica se encuentra en la parte tropical del

$$N = 2/15 \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \tag{1}$$

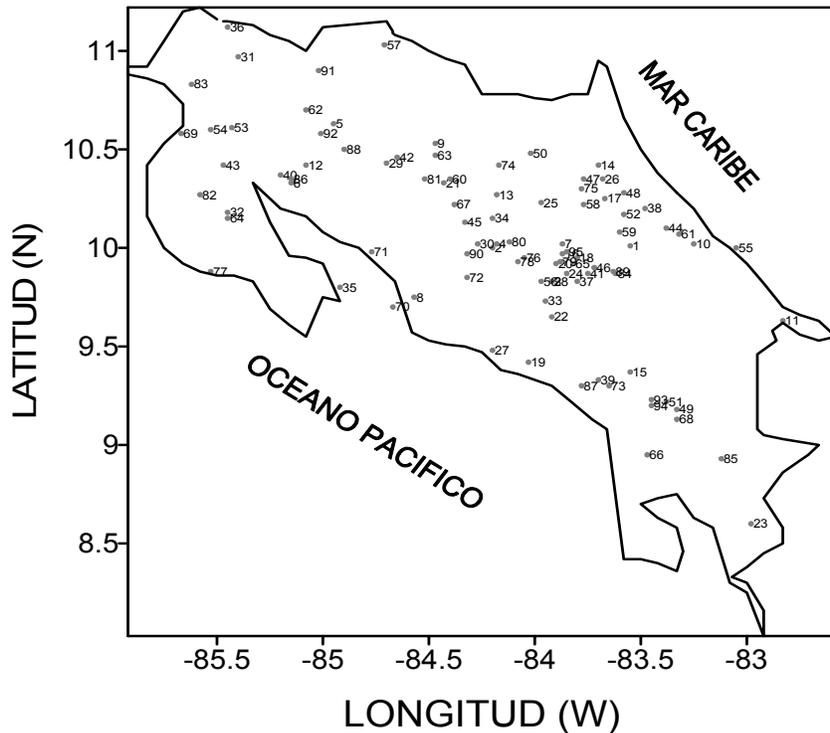


Figura 1. Ubicación en el mapa de Costa Rica de las 95 estaciones con registros de horas de brillo solar usadas en este trabajo.

Siendo $\delta = 23.45 \text{ sen } [360^\circ (D-81)/365]$ la declinación del sol, en la que D es el ordinal del día juliano. ϕ es la latitud del lugar. En la Tabla 2 se dan los valores medios mensuales del número de horas de sol posibles para Costa Rica.

Como se nota en la Tabla 2 el valor máximo astronómico de la duración del día corresponde al mes de junio y corresponde a la cercanía del solsticio de verano (21 de junio).

A continuación se dará una breve introducción teórica de la aplicación de la técnica kriging (ver Beyer *et al.* 1997) utilizada en este trabajo.

La estimación del valor del campo Y en una localidad x_0 , puede obtenerse por la combinación lineal entre las mediciones de los valores en las localidades x_i (donde x representa las coordenadas de un punto).

$$Y^*(x_0) = \sum_i^I w_i Y(x_i) \quad (2)$$

Donde los pesos w_i son puestos indirectamente por métodos simples, de acuerdo con la separación de la distancia h_{0i} entre x_0 y x_i . Por ejemplo, para el método del inverso de la distancia (también referido como interpolación gravitacional) los pesos son puestos como:

$$w_i = \frac{1}{h_{0i}^2} \frac{1}{\sum_j (1/h_{0j}^2)} \quad (3)$$

La técnica kriging se basa en la idea de seleccionar los pesos w_i para que el error del estimador $Y^*(x_0)$ sea mínimo con respecto al valor actual $Y(x_0)$. Este proceso requiere conocer información sobre la estructura espacial del campo, la cual lo provee la función estructural del variograma.

$$\gamma(d) = \left\langle [Y(x) - Y(x+h)]^2 \right\rangle \quad (4)$$

El variograma γ describe la expectación de la diferencia cuadrática de los valores del campo separados una distancia h . Por simplicidad, asumimos que el campo es isotrópico; asimismo, consideramos que el variograma γ depende únicamente del valor absoluto de h . En la práctica esta función es estimada con una base de datos, agrupando pares de estaciones en clases de distancias y calculando para cada clase el valor medio de la diferencia cuadrática.

Para cálculos subsecuentes, el variograma generalmente se ajusta por medio de funciones analíticas, las cuales reflejan las características esperadas por el variograma (Zelenka *et al.* 1992). Un modelo tipo exponencial que se adapta mejor a los datos de heliofanía relativa presentados en este trabajo es el siguiente

$$\gamma(h) = c_0 + a[1 - \exp(-h/b)] \quad a \geq 0, b \geq 0 \quad (5)$$

Usando la información del variograma y minimizando los resultados de los errores estimados por las siguientes ecuaciones, los cuales son determinados por los pesos w_i , solamente si $Y^*(x_0)$ es estimado por una muestra de observaciones de I . De aquí se utiliza la siguiente notación abreviada $\gamma(x_i-x_j) = \gamma(|x_i-x_j|)$

Para $a = 1, I$

$$\sum_i^I w_i \gamma(x_a, x_i) + \mu = \gamma(x_0, x_a) \quad (6)$$

$$\sum_i^I w_i = 1$$

Donde μ es el multiplicador lagrangiano. El multiplicador lagrangiano es utilizado aquí para cumplir con la condición de que la suma de los pesos w_i debe ser igual a la unidad; eso asegura que la estimación esté libre de influencias

Una fuente adicional de la información del campo puede darse con los datos que estén positivamente correlacionados con el campo de estudio, y mostrados en un gran número de localidades. En nuestro contexto serían los datos diarios medios mensuales de la heliofanía relativa en Costa Rica.

Para la cuestión de los cálculos de las distancias y de los ángulos entre los puntos: las estaciones meteorológicas siempre son ubicadas por sus coordenadas latitud ϕ y longitud λ . Por ser Costa Rica un país pequeño territorialmente y situarse cercano al ecuador; las distancias h pueden estimarse con una buena aproximación por el teorema de Pitágoras (Aguiar 1999).

$$h = [(\phi_1 - \phi_2)^2 + (\lambda_2 - \lambda_1)^2]^{1/2} \quad (7)$$

La aplicación del kriging ordinario requiere que el campo este libre de tendencias e isotrópico (Beyer *et al.* 1997). Los datos presentados en este trabajo son perpetrados para cumplir con estas exigencias.

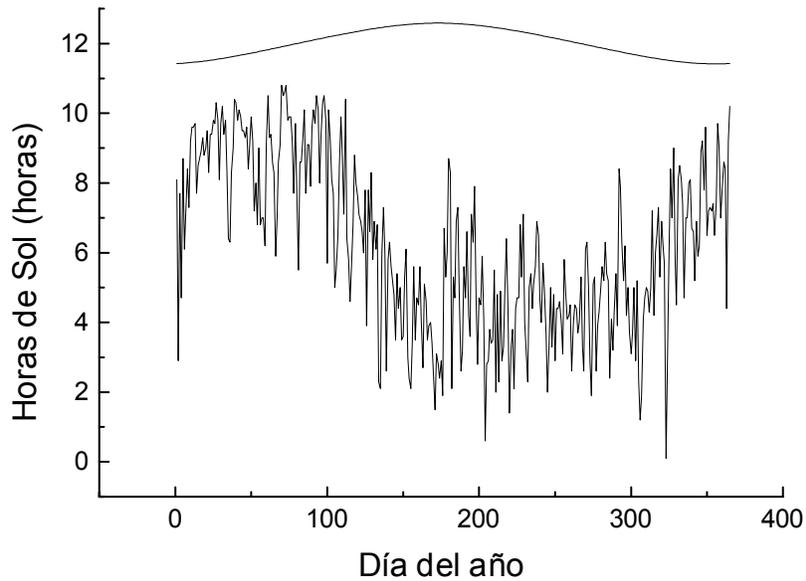


Figura 2. Variación anual del número de horas de sol reales n y posibles N .

3. Resultados y discusión

La heliofanía relativa n/N depende del alto grado de la nubosidad del cielo, cuando el cielo está despejado, n/N aumenta, y cuando el cielo está nublado, n/N disminuye. La Figura 2 muestra el curso anual de los valores diarios medios mensuales del número de horas de

sol posibles N (línea superior) y el número de horas de sol reales n (línea inferior) de la Estación Experimental Santa Lucía en Barba de Heredia. Los valores de N muestran una curva de forma de campana, sus valores máximos ubicados en los puntos medios de la curva corresponden a los días más lluviosos y nublados del año en nuestro país, mientras

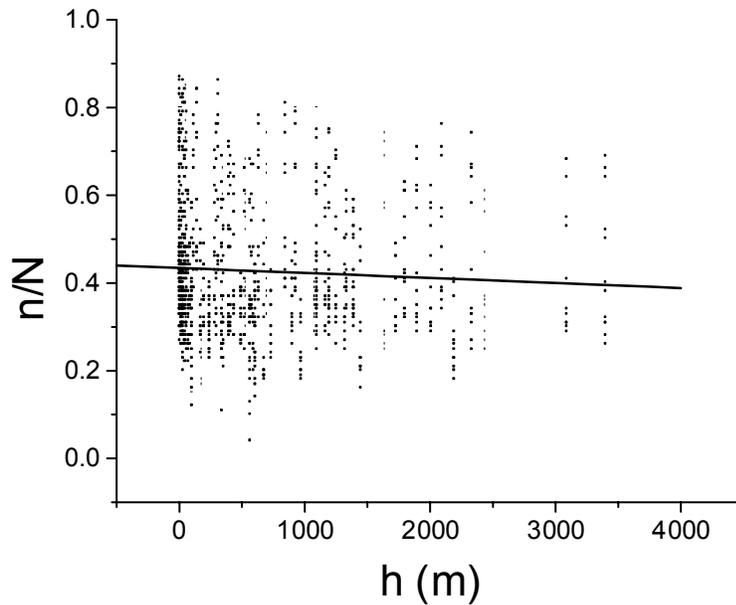


Figura 3. Variación de la heliofanía relativa n/N con la altura h de la estación.

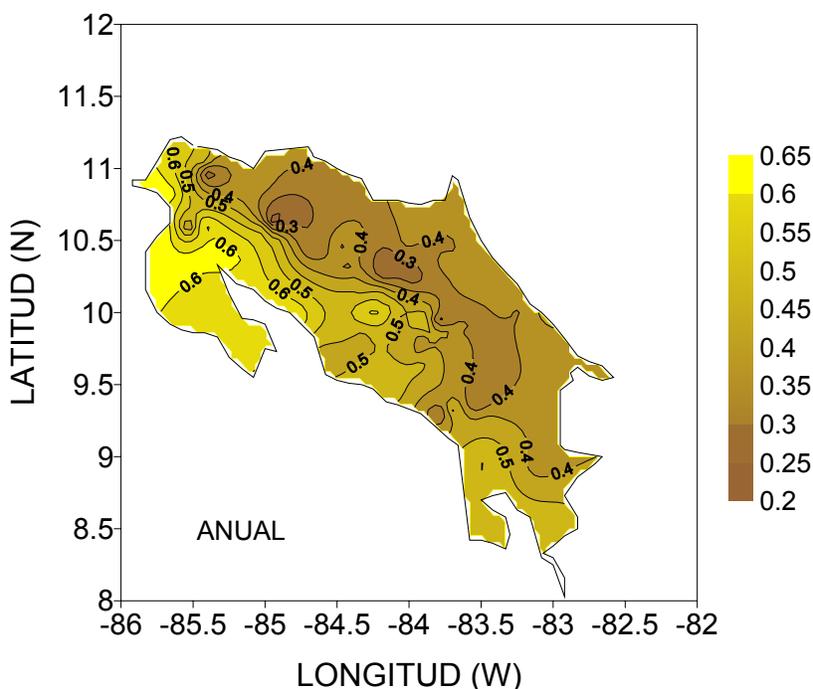


Figura 4. Promedios diario medio anual de la heliofania relativa en Costa Rica.

los valores mínimos coinciden con los puntos extremos de la curva, que corresponden a los días más secos del año. La distribución de los valores de n muestra una simetría anual inversa a los valores de N para las condiciones meteorológicas de Santa Lucía, porque durante los días de la época lluviosa las nubes pueden reflejar o absorber hasta un 90% de la energía que incide sobre ella, ocasionando una reducción muy significativa en la radiación solar que llega al suelo. Por lo tanto, los picos máximos de los valores de n se ubican entre los intervalos de 1 a 120 días y de 300 a 365 días, tal como se muestra en la fig. 2. Esta figura muestra algunos picos altos de los valores de n entre 150 y 250 días, los cuales corresponden a algunos días despejados de la época lluviosa asociados al veranillo de San Juan.

La Figura 3 muestra la variación de los valores diarios medios mensuales de n/N con h para las 95 estaciones meteorológicas analizadas en este en este trabajo. Se observa mucha dispersión alrededor de la curva de mejor ajuste obtenida por el método de los mínimos cuadrados de la gráfica n/N versus h , lo que demuestra la pobre correlación existente ($r = -0.05$) entre la duración del brillo solar y la altura de la estación para las condiciones meteorológicas de nuestro país. La línea de mejor ajuste obtenida entre n/N versus h tiene una tendencia ligeramente decreciente, lo que infiere una influencia negativa de la nubosidad con las condiciones orográficas del país. Debido a que gran parte del territorio nacional esta rodeado por sierras y cordilleras, la obstrucción del horizonte hace que heliofania relativa decrezca en valles y

laderas; porque la quema de las bandas del heliógrafo inicia y termina un cierto intervalo de tiempo después y antes del orto y ocaso, respectivamente, resultando en una duración del día n menor de lo real, y como consecuencia, una reducción de la heliofania relativa.

heliofania relativa n/N con la altura h de la estación.

Los mapas de las Figuras 4 a 10 muestran la distribución geográfica de la heliofania relativa media diaria anual y mensual generada por la técnica kriging. En la distribución geográfica del valor diario medio anual (fig. 4) se muestra que los valores mínimos se ubican en las llanuras del Caribe y la zona Norte; mientras que los valores máximos se ubican en el Pacífico Norte y la sección Oeste del Valle Central. Esa variación diaria media anual en la heliofania relativa en diferentes zonas geográficas del país, esta asociada a la interacción que presenta los diferentes sistemas de vientos que afectan al país y la topografía, la cual cuenta con cadenas montañosa (compuesta por sierras y cordilleras) que atraviesa el país de noroeste a sureste con elevaciones de hasta 3 820 metros sobre el nivel medio del mar (Cerro Chirripó). Esta variación en la orografía y en el régimen de vientos se ve reflejada en la distribución espacial y temporal de la heliofania relativa, que esta estrechamente asociada a la nubosidad del país. La distribución de la heliofania relativa en la vertiente del Caribe la peculiaridad es el mínimo hacia el Norte de la Cordillera de Talamanca. El valor máximo anual corresponde a Santa Cruz (0.63) y el valor mínimo en los bajos los Cartagos (0.22). El promedio ponderado anual es de 0.43.

TOPICOS METEOROLOGICOS Y OCEANOGRAFICOS

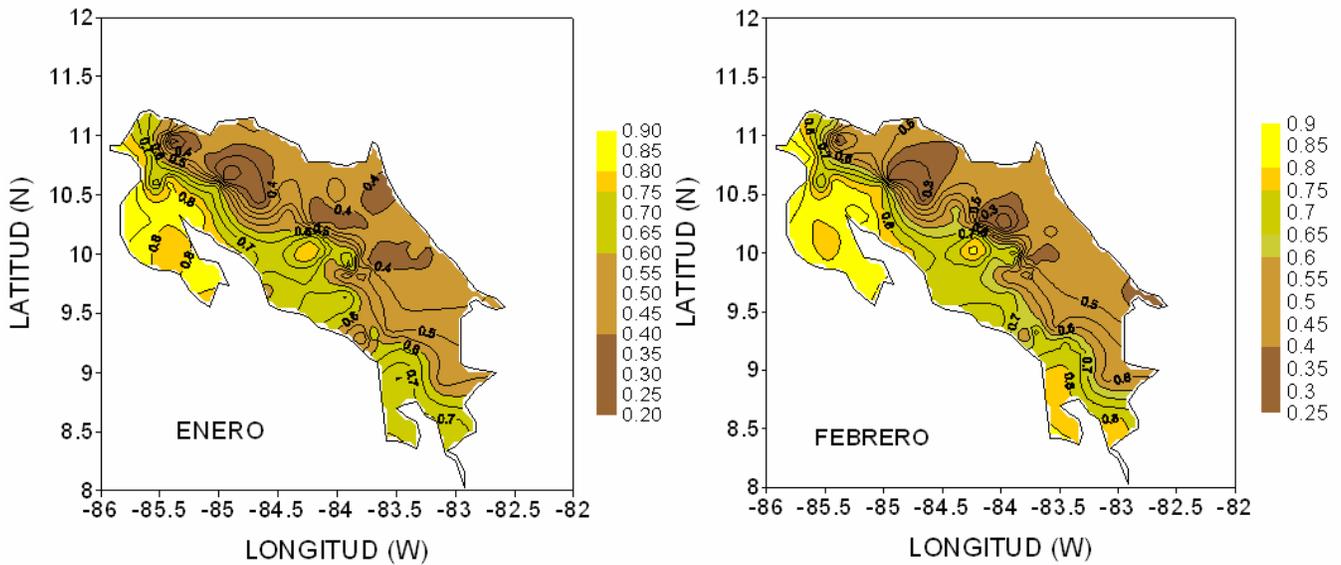


Figura 5. Promedios diarios medios mensuales de la heliofanía relativa en Costa Rica para los meses enero y febrero.

La distribución geográfica de la heliofanía relativa de los meses de la época seca (enero, febrero, marzo, abril y diciembre) se asemejan, tal como se observa en las Figuras 5, 6 y 7. Estos meses se distinguen por el gran contraste entre las partes más soleadas y las menos soleadas del país. Las más soleadas corresponden al Pacífico Norte, al Pacífico Central y al Pacífico Sur y la sección Oeste del Valle Central, y las menos soleadas a la Vertiente del Caribe y la Zona Norte del país.

La Figura 5 muestra la distribución geográfica de los meses de enero y febrero. Los valores máximos del mes de enero corresponden a Santa Cruz (0.85), Playa Panamá

(0.84) e Ingenio Taboga (0.83). Los valores mínimos corresponden a la Finca El ensayo (0.24), Finca Santa Cecilia (0.24) y bajos Los Cartagos (0.26). El promedio ponderado del mes de enero corresponde a 0.57. El mes de febrero igualmente que el de enero se distingue por el gran contraste entre las partes soleadas de la Península de Nicoya con un valor máximo de 0.86 en Santa Rosa, Playa Panamá y Taboga, y un valor mínimo de 0.23 en Cubujuquí las Horquetas. El promedio ponderado del mes de febrero es 0.59, que corresponde conjuntamente con el mes de marzo al más alto del año del territorio nacional.

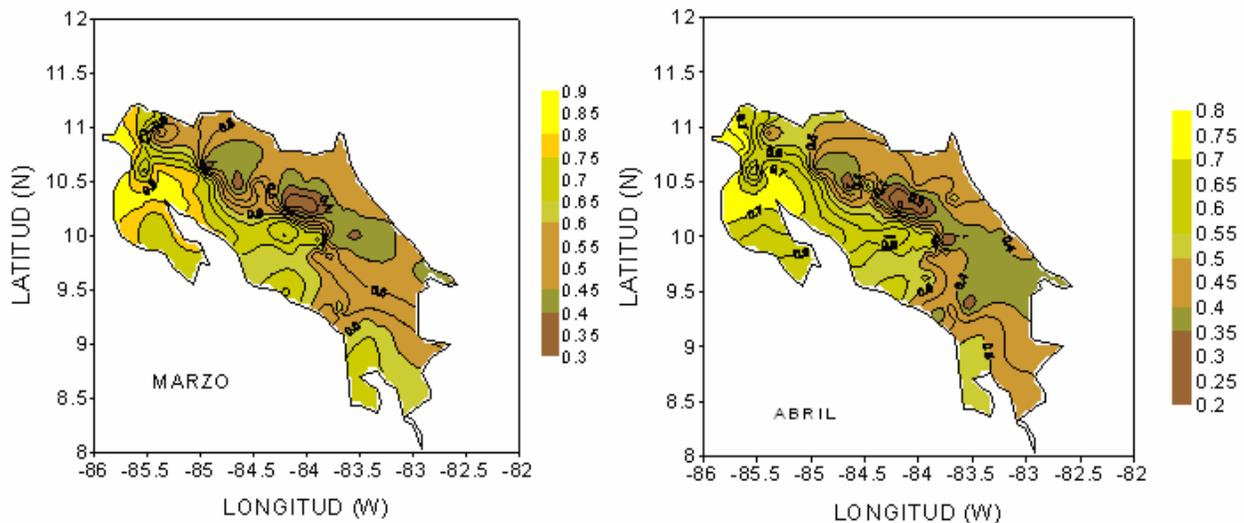


Figura 6. Promedios diarios medios mensuales de la heliofanía relativa en Costa Rica para los meses marzo y abril.

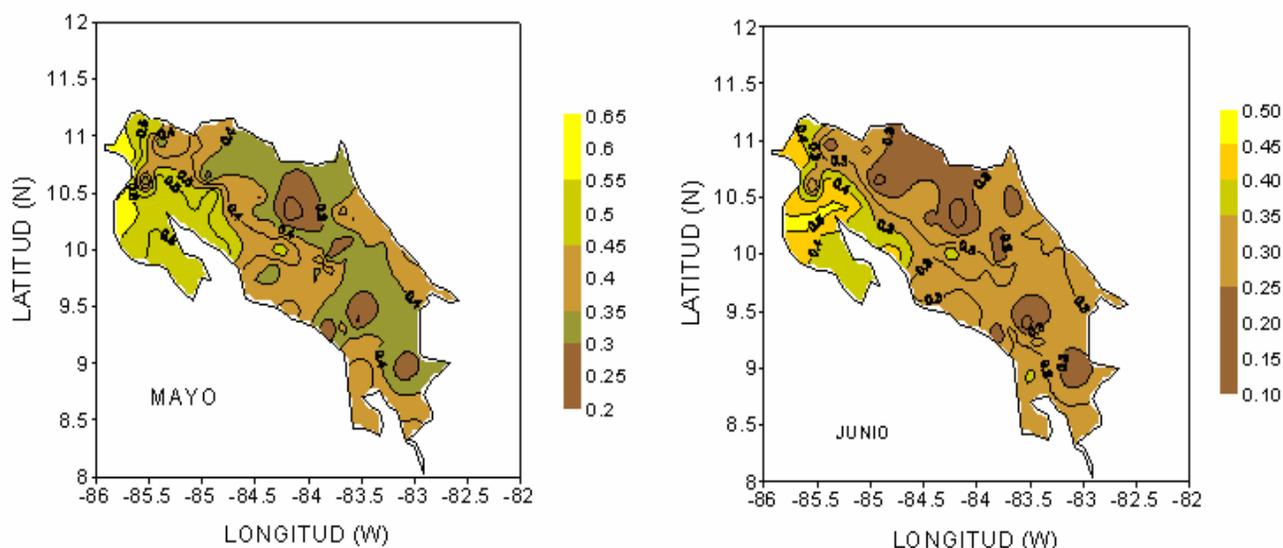


Figura 7. Promedios diarios medios mensuales de la heliofanía relativa en Costa Rica para los meses mayo y junio.

La Figura 6 muestra la distribución geográfica de la heliofanía relativa correspondiente a los meses marzo y abril. Se observa valores mínimos en Cubujuquí las Horquetas y Cariblanco, ubicados al Este y Norte de la Cordillera Central. Los valores máximos se ubican en la Cuenca baja del Río Tempisque y en la región de Cabo Santa Elena. La distribución del mes de abril es similar al del mes de marzo, el máximo en el Pacífico Norte se ubican en Bancal, Taboga y Santa Rosa con 0.75. El promedio ponderado del mes de abril es 0.51.

La insolación comienza a decaer en la Vertiente

del Pacífico en los meses de mayo y junio (Fig. 7). La máxima heliofanía relativa en el Pacífico en el mes de mayo es de 0.59 en Playa Panamá y el mínimo en el Atlántico en Cariblanco y Cubujuquí las Horquetas con 0.25. El promedio ponderado es 0.38. La insolación sigue decayendo en el mes de junio en la Vertiente del Pacífico como se muestra en la Fig. 7, alcanzando un máximo de 0.47 (Santa Cruz) y un mínimo de 0.18 (Cedral, Bajos los Cartagos y Cariblanco). El promedio ponderado del mes de junio es de 0.30, que es el mes de menor insolación.

A pesar de la merma en las lluvias que se

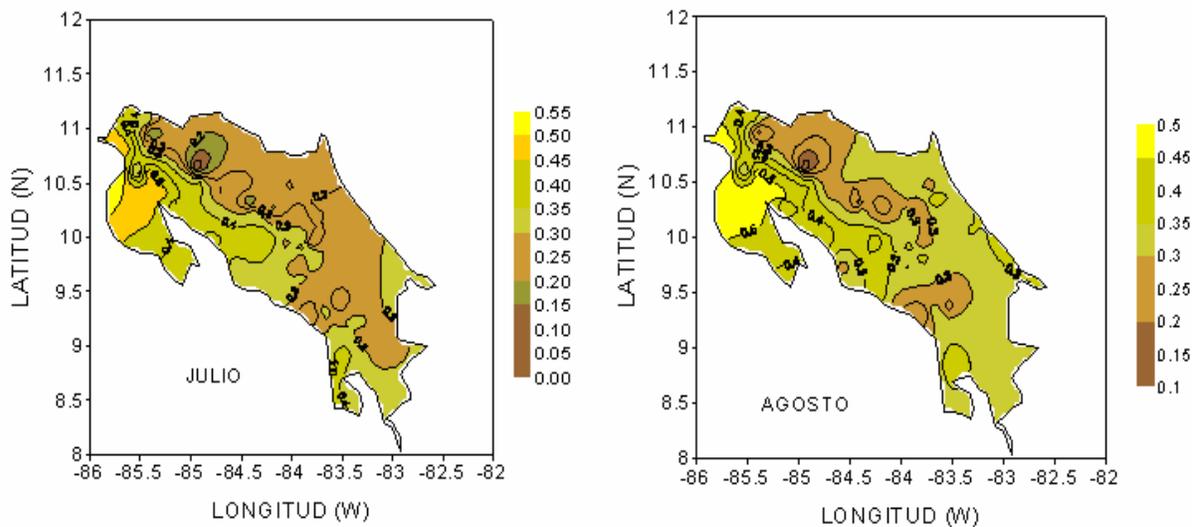


Figura 8. Promedios diarios medios mensuales de la heliofanía relativa en Costa Ricapara los meses julio y agosto.

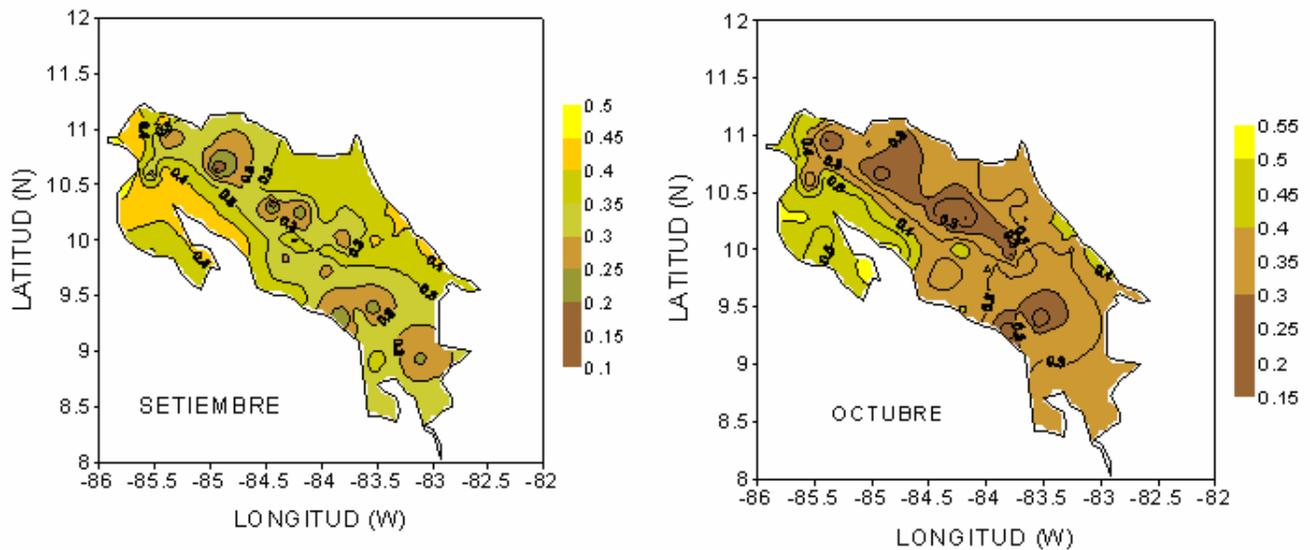


Figura 9. Promedios diarios medios mensuales de la heliofanía relativa en Costa Rica para los meses setiembre y octubre.

experimentan en el mes de julio (Fig. 8) debido al veranillo de San Juan, se diferencia muy poco con la insolación del mes anterior. El máximo (0.54) ocurre en Playa Panamá y el mínimo (0.14) ocurre en la zona Norte, específicamente, en la Finca el Ensayo ubicado al Noreste de la Cordillera de Talamanca en la Zona Norte. El mes de agosto es semejante a los dos meses anteriores, junio y julio. El máximo de 0.50 en la Guinea en el Valle del Tempisque y el mínimo de 0.10 en Bajos los Cartagos. Los promedios ponderados de los meses de julio y agosto son respectivamente 0.31 y 0.33.

En las isolíneas del mes de setiembre (Fig. 9) se observa una menor amplitud entre las zonas de mayor heliofanía relativa (0.4) y las zonas de menor heliofanía relativa (0.3), la cual indica que la amplitud de la oscilación mensual es la menor del año (0.1). Como se muestra en esta figura, los valores máximos se ubican en la sección del Pacífico Norte; específicamente en las regiones del Cabo Santa Elena, Cabo Velas, Valle del Tempisque y el litoral del Caribe Sur. El mapa de isolíneas del mes de octubre (Fig. 9) también presenta una pequeña amplitud entre las zonas de mayor insolación y las de menor insolación. Los mapas de isolíneas de ambos meses muestran una mayor heliofanía relativa en el Valle del Tempisque, Cabo Velas, Cabo Santa Elena, y el litoral del Caribe Sur. Mientras los valores mínimos se presentan en el Valle Central, Valle del General, Valle de Talamanca y las llanuras de San Carlos. El valor máximo del mes de octubre corresponde a Frutipaquera con 0.54 y el valor mínimo a Cariblanco con 0.20. El promedio ponderado de mes de octubre corresponde a 0.36.

La distribución geográfica de la heliofanía relativa de los meses de noviembre y diciembre presentan un ligero aumento en la amplitud entre las zonas más soleadas y las zonas menos soleadas del país, lo cual indica un aumento en el contraste de la insolación del territorio nacional. Se observa que las magnitudes máximas del mes de noviembre corresponden a las regiones del Cabo Santa Elena, Cabo Velas y el Valle de Tempisque, todos ubicados en el Pacífico Norte del país. El valor mínimo corresponde a 0.23 (Cariblanco y Bajos los Cartagos) y el valor máximo de 0.64 (Santa Rosa). El mes de diciembre (Fig. 10) es más acentuado el predominio de los días soleados en la Cuenca del Golfo de Nicoya. En este mes se observa claramente la característica de la estación seca en la provincia de Guanacaste con valores mayores de la heliofanía relativa en el Pacífico Norte, Oeste del Valle Central, y el Pacífico Sur. El valor máximo (0.78) corresponde a Frutipaquera que esta ubicado en la Península de Nicoya y el valor mínimo (0.11) en Cubujuquí las Horquetas, ubicado en Sarapiquí de Heredia, tal como se muestra en la Figura 10. Los promedios ponderados para los meses de noviembre y diciembre son respectivamente 0.38 y 0.46.

Lo anterior resulta que los meses más secos y soleados del año, i.e., enero, febrero, marzo y diciembre, se cumple la condición de que $n/N \geq 0.80$ (en la región del Pacífico Norte) y $n/N \leq 0.4$ (en la vertiente del Atlántico y la zona Norte), tal como se muestra en las figuras 5, 6 y 10. Además se observa una amplitud hasta de un 0.5 entre las zonas más soleadas (Pacífico Norte) y las menos soleadas (Vertiente del Caribe y Zona Norte) del país en los meses más secos del año.

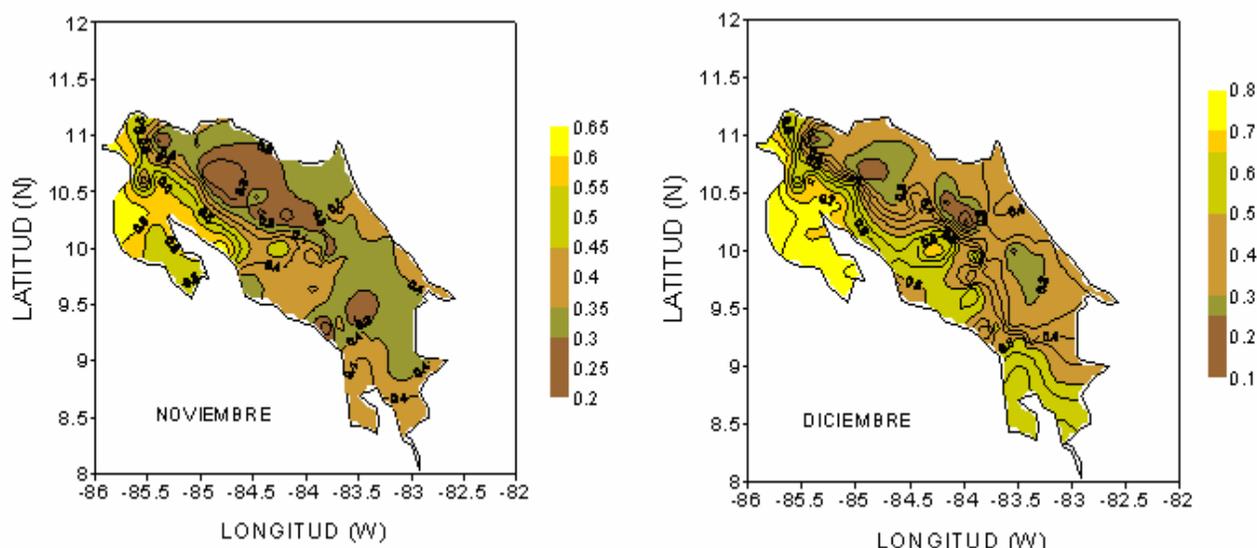


Figura 10. Promedios diarios medios mensuales de la heliofanía relativa en Costa Rica para los meses noviembre y diciembre.

3. Conclusiones

Se podría concluir que en el Valle Central, los valores diarios medios mensuales de heliofanía relativa fluctúan entre 0.3 en la época lluviosa (cuando la cobertura nubosa varía de parcial a total a lo largo del día) y 0.7 en la época seca (cuando predominan el cielo despejado o con poca nubosidad). En el Pacífico Norte, los valores diarios medios mensuales de la heliofanía relativa son menores en los meses de mayo a noviembre (alrededor de 0.5), en que la cobertura nubosa es mayor sobre la región, de diciembre a abril se alcanzan los valores mayores, casi 0.85, por encontrarse en la época seca. En el Pacífico Central los valores de la heliofanía relativa que prevalecen en esta región también dependen de la época en que nos encontremos, la cobertura nubosa es mayor durante los meses de mayo hasta noviembre, que es la época lluviosa, en especial tierra adentro donde se dan condiciones de calentamiento local y donde la brisa de mar es forzada a subir manteniendo promedios de 0.4 diarias, de enero a abril los valores de heliofanía relativa suben para situarse en los 0.7 como promedio. En la región del Pacífico Sur hay dos estaciones bastante definidas, siendo la estación seca un poco más corta que la observada en el Pacífico Norte, ésta se inicia a finales de diciembre y termina alrededor de abril, la heliofanía diaria media mensual durante ese periodo es aproximadamente 0.6. El mes más lluvioso suele ser octubre, la heliofanía relativa media diaria descende a 0.3, y el más seco febrero, la heliofanía relativa media diaria asciende a 0.7, aunque aquí no es del todo seco como en el Pacífico Norte. A través del año en la Vertiente del Caribe los valores diarios medios de la heliofanía relativa fluctúan entre 0.4 y 0.5 durante los días de enero hasta mayo, siendo julio el mes con mayor

cobertura nubosa (producto del aceleramiento del viento alisios), y por lo tanto, menor cantidad de horas de sol diarias, como lo demuestra con un valor medio de la heliofanía relativa de 0.3. La situación en las partes altas de la región es muy similar, la diferencia con los valores medios diarios de la franja costera es de menos una hora. En la Zona Norte los valores más altos de la heliofanía relativa se presentan durante los meses de marzo y abril con un valor medio 0.5 y los más bajos desde mayo a diciembre con un valor medio de 0.3. Por lo que no se puede definir una estación propiamente seca, como sucede en la Vertiente del Caribe.

Como era de esperar las tierras expuestas a los vientos alisios del NE, la Vertiente del Atlántico y llanuras del Norte, tienen menor cantidad de heliofanía relativa que las tierras del Pacífico. Los mapas de heliofanía relativa en este trabajo permiten ubicar las zonas de alta y baja insolación del país, establecer el orden de magnitud de la misma aún en las zonas donde no existen estaciones heliográficas.

Las tierras del Pacífico Sur del territorio de Costa Rica tienen menor cantidad de heliofanía relativa que las tierras del Norte. En las tierras del Atlántico, la región costanera tiene más cantidad de heliofanía relativa las faldas de las cordilleras.

La región de Costa Rica de menor cantidad de heliofanía relativa corresponde a la cuenca alta del Río Reventazón, en la Cordillera de Talamanca y la región de mayor heliofanía relativa durante el año es la cuenca baja del Río Tempisque en Guanacaste. Nótese también que, en el territorio nacional, las transiciones de las regiones más soleadas a las regiones de menos soleadas, son de gradientes más pronunciados a lo largo de la Cordillera

Central y la de Guanacaste durante los meses de la época seca (enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre). En cambio, durante los meses de la época lluviosa (mayo, junio, julio, agosto, setiembre y octubre) la amplitud de la heliofanía relativa entre las zonas más soleadas y menos soleadas es relativamente pequeña, lo que indica que la insolación es más uniforme durante la época lluviosa.

Agradecimiento

A los Licenciados Eladio Zárate y Juan Carlos Fallas, funcionarios del Instituto Meteorológico Nacional IMN por la entrega de una versión electrónica de los datos del número de horas de brillo solar, para la realización de este trabajo.

Resumen

En este trabajo se estudia la variabilidad espacial y temporal de la insolación en el país con base a los mapas de isolinéas de heliofanía relativa generadas por “kriging”, siendo kriging una técnica de interpolación lineal por métodos geoestadísticos. Asimismo, se comparan los valores de la heliofanía relativa durante la época seca y y la época lluviosa en las definidas regiones climáticas del país: Valle Central, Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Zona Norte y Vertiente del Atlántico. La heliofanía relativa es definida como el cociente entre las horas de sol reales y posibles. En la generación de los mapas de heliofanía relativa se utilizaron los registros de horas de brillo solar de 95 estaciones meteorológicas esparcidos en todo el territorio costarricense. Los niveles diarios medios observados oscilan entre 0.10 y 0.87 con valores más altos, en todos los meses del año, en la sección norte de la Vertiente del Pacífico. Los valores más bajos coinciden con las laderas Noreste de las Cordilleras Central, las Cuencas altas de los Ríos Sarapiquí, San Carlos y Río Sucio, y la cuenca alta del Río Reventazón en la Cordillera de Talamanca.

Referencias

- Aguiar, R. 1999. Cartografía de Radiação Solar por Métodos Geoestadísticos. En: J. Wright. (Ed.), Documentos do 1^{er} Curso Regional de Solarimetria. UNA. Heredia, Costa Rica, 1999, 39 pp.
- Beyer, H., G. Czeplak, U. Terzenbach and L. Wald. 1997. Assessment of the method used to construct clearness index maps for the new European Solar Radiation Atlas. *Solar Energy* 61 (6): 389-397.
- Cooper P. I. 1969. The absorption of solar radiation in solar stills. *Solar Energy* 12 (3): 333-346.
- Journel A. and C. Huijbregts. 1978. *Mining Geostatistics* Academic Press, London.
- Kunz S. and J. Remund. 1995. METEONORM – a comprehensive meteorological database and planing tool. In 13th European PV – Solar Energy Cont., Nice, France, pp. 733-735.
- Wright, J. (Ed.) 1999. Documentos del 1^o Curso Regional de Solarimetria. Red Temática V.I.E. RISOL/CYTED, 12-15 Julio 1999, UNA, Heredia, Costa Rica.
- Zelenka A., Czeplak G., D’Agostino V., Josefson W., Maxwell E. and R. Perez. 1992. Techniques for supplementing solar radiation network data. Report No. IEA-SHCP-9D, IEA.
- Zelenka A. 1994. Combining METEOSAT and surface network data: a data fusion approach for mapping solar irradiation. In Proc. 10th Meteosat Scientific Users Conf., Locarno, Switzerland, pp. 515-520.
- Zeletnka A. and Lazic D. 1987 Supplementing network global irradiance data, advances in solar energy technology. In Proc. 1986 Biennial Congress ISES, Hamburg. Pergamon 4: 3861-3865.