

# Análisis del comportamiento del gradiente de radiación en Cuba

*Analysis of the behavior of the gradient of radiation in Cuba*

**Maydes Barcenás Castro**

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología  
maydes.barcenas@insmet.cu

**Israel Borrajero Montejo**

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología  
israel.borrajero@insmet.cu

*Recibido: 18 de junio de 2012; aceptado: 14 noviembre 2012*

## Resumen

En los últimos años, al incrementarse el costo de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación, se asiste con mayor interés al empleo de las energías renovables. Debido a la ausencia de una densa red de estaciones de radiación solar en Cuba, se desconoce cómo varía la radiación solar espacialmente; por ello, este trabajo se propuso como objetivo general determinar el comportamiento del gradiente de radiación solar. Los datos utilizados consisten en matrices con valores mensuales de radiación, obtenidos a partir de un método que se basa en las imágenes de satélites meteorológicos; el valor mensual es el promedio de los valores del mes. Se realizó una descripción de la variación del gradiente en relación con el relieve, la dirección predominante del viento y la transición del mar a la tierra; se hizo una comparación entre las costas norte y sur; y se elaboraron perfiles con los valores de radiación en zonas específicas para diferentes meses. Entre los principales resultados obtenidos se comprobó que los mayores valores de gradiente se encuentran en las costas y zonas montañosas, mientras que los menores se relacionan con las áreas del interior del país; asimismo, se encontró que, por lo general, el gradiente es más fuerte hacia la tierra que

hacia el mar. En los meses de verano, la zona del país con mayor gradiente es el área montañosa en el norte de la provincia de Guantánamo, mientras que en los meses invernales es la zona montañosa de la Sierra Maestra. Estos resultados serían de gran utilidad para un buen aprovechamiento de su potencial como energía renovable, así como para las actividades agrícolas, el turismo y la construcción.

**PALABRAS CLAVE:** Gradiente de radiación, radiación solar, imágenes, satélite.

## Abstract

In recent years, with the increasing cost of fossil fuels and environmental problems derived from their exploitation, we are attending to a reborn on interest in renewable energies. Due to the lack of a dense network of solar radiation stations in Cuba, how varies the solar radiation spatially. That is why, was proposed as general objective, determine the behavior of the gradient of solar radiation. The used dataset consist of matrices with monthly values of radiation, obtained through a method based on meteorological satellite images, the monthly value is the mean values of the month. A description was performed about gradient variations respect to relief, wind predominant direction and transition from sea

to land. Comparisons were made between the north and south coasts and were drawn profiles of radiation in specific zones for different months. Among the main results was found that, the largest values of gradient are on coasts and mountainous zones, while the lowest relate to the areas of the interior. It was also found that, in general, the gradient is stronger inward the land than to the sea. In the summer months the area of the country with higher gradient is the mountainous area of north of the province of Guantánamo and the winter months in the mountains of the Sierra Maestra. These results are quite useful in planning the use of solar radiation as a source of renewable energy, as well as, for agricultural, tourism and construction.

KEYWORDS: Gradient radiation, solar radiation, imagery, satellite.

## Introducción

Durante los últimos años, debido al incremento del costo de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación, se asiste con mayor interés al empleo de las energías renovables. El aprovechamiento por el hombre de estas fuentes, entre estas la solar, hace que se multipliquen los estudios para lograr conocer y localizar lo mejor posible el recurso.

La radiación solar puede satisfacer muchas de las necesidades del hombre, si se aprende a utilizarla de forma racional. Por medio de paneles solares se obtiene electricidad con bajo costo y sin peligro de contaminación para la atmósfera; esta electricidad se usa con mucho éxito en Cuba en las zonas rurales. El calor recogido en los colectores puede destinarse a la obtención de agua caliente para los consumos doméstico o industrial; en los países fríos se utiliza para climatizar los locales y las piscinas.

En la agricultura, reviste una gran importancia, puesto que la radiación solar es una de las variables

meteorológicas que más afecta a los cultivos, influye en la humedad del suelo, la evapotranspiración y la fotosíntesis. El conocimiento de la radiación para un área en las distintas épocas del año ayuda a la obtención de mejores rendimientos en los cultivos y tiene múltiples aplicaciones, como los invernaderos, secaderos, etc. El conocimiento acerca del comportamiento de la radiación solar es útil en la arquitectura, dado que la distribución de las habitaciones se realiza teniendo en cuenta las paredes que mayor calor reciben.

Con vistas al mejor aprovechamiento de esta energía es fundamental su estudio; para ello, se utilizan las mediciones de las radiaciones global, directa y difusa. En Cuba se cuenta con pocas estaciones para medir la radiación solar en superficie; a pesar de ello, son varios los trabajos que realizados encaminados a caracterizar el comportamiento de la radiación solar para diferentes lugares del territorio (Martínez y Campos, 1984; Álvarez-Guerra y Ramos, 1992; Martínez y Pomares, 1999). Una densa red de estaciones para caracterizar el régimen de radiación solar en todo el país resultaría muy costosa, por lo que se han utilizado métodos indirectos para estimarla mediante otras mediciones, como la insolación o la nubosidad (Rivero *et al.*, 1995; Rodríguez, 2002; Borrajero *et al.*, 2000, 2005; Peláez *et al.*, 2005; Vigón *et al.*, 1988).

Desde la aparición de los satélites meteorológicos se abrió una nueva perspectiva para estimar este parámetro y se han realizado estudios encaminados a ello. Uno de los métodos más efectivos para estimar la radiación solar es a partir de las imágenes satelitales. En los últimos 30 años, la literatura especializada reporta diversos métodos de cálculo de la radiación solar, con distintos grados de complejidad. Rivero (2000) confeccionó un método con imágenes de satélites GOES de baja resolución espacial y temporal (8 km, cada 1 h) que, a pesar de sus limitaciones, se aplicó operativamente durante dos años en Cuba.

Con la adquisición en Cuba de una estación de alta resolución espacial (1 km por píxel) y temporal

(cada 15 min) surgió una nueva vía para estimar la radiación solar con mayor precisión por medio de las imágenes de satélite, y con celeridad se desarrolló un nuevo método que permitió aprovechar todo ese potencial de información. Una característica distintiva del método propuesto por Lavastida (2005) es que no utiliza la información de las imágenes de forma cuantitativa en el cálculo de la radiación, sino que a partir de estas se aplica un método de clasificación automático de tipos de nubes. Este método permite determinar las condiciones de nubosidad en cada píxel, y con la ayuda de ecuaciones empíricas (Campos *et al.*, 1987) se modifican los resultados de un modelo físico (SIMPLE) de cálculo de la radiación en presencia de cielo despejado (Bird and Riordan, 1984) para obtener estimaciones que reflejen las condiciones reales.

Como es conocido por trabajos anteriores (Campos *et al.*, 1988; Lecha *et al.*, 1994), los menores valores de radiación se dan hacia el interior del país, puesto que es el área donde existe la mayor cantidad de nubosidad a causa de la convección que se genera en estas zonas, y los mayores valores de radiación se relacionan con las zonas costeras y montañosas. Lo que no se ha demostrado hasta el momento es cuán suave o abrupto puede ser el gradiente de radiación, es decir, cómo varía la radiación longitudinal o espacialmente.

Por la importancia que representan para Cuba el comportamiento de la radiación y la carencia de una densa red de radiación solar, se plantea como objetivo determinar el comportamiento del gradiente de radiación en Cuba. Estos resultados serían de gran utilidad para un buen aprovechamiento de su potencial como energía renovable, así como para las actividades agrícolas, el turismo y la construcción.

## Materiales y métodos

Los datos utilizados pertenecen a una matriz con valores de radiación global, obtenidos por el método

elaborado por Lavastida (2005), correspondientes a los meses de julio, agosto, octubre, noviembre, diciembre (2003) y enero (2004); los datos mensuales de radiación corresponden al promedio de los valores diarios en el mes; los datos diarios son, a su vez, los valores medios del día, puesto que las imágenes se obtienen cada 15 min. Esta matriz comprende el área entre la latitud 23.78° N y 19.56° N y la longitud 85.51° W y 73.64° W, teniendo información de la radiación cada 0.04 grados de latitud y de longitud. La unidad de medida de la radiación global utilizada fue  $W \cdot h / m^2$ .

El procesamiento de los datos se realizó con el lenguaje para cálculos numéricos Octave 3.2 (software libre). Desde el punto de vista matemático, el vector gradiente de una función  $f$  evaluado en un punto  $x$  del dominio de  $f$ ,  $\nabla f(x)$ , indica la dirección en la cual el campo  $f$  varía más rápido y su módulo representa el ritmo de variación de  $f$  en la dirección de dicho vector gradiente. De modo que la expresión del gradiente en nuestro estudio se declara de la manera siguiente:

$$\nabla f(x,y) = \partial f / \partial x + \partial f / \partial y, \quad (1)$$

con un paso entre puntos igual a 1, para cada una de las dos direcciones.

Primeramente, se realizó el cálculo modular del gradiente y con esta matriz se obtuvieron las imágenes correspondientes al comportamiento del gradiente de cada mes. De la interpretación de estas imágenes se efectuaron análisis de las zonas del país donde era mayor o menor el gradiente de radiación, se hizo una comparación entre la costa norte y la sur, además de una descripción de la variación del gradiente en relación con el relieve, la dirección predominante del viento y la transición del mar a la tierra. La unidad de medida del gradiente de radiación es  $(W \cdot h / m^2) / km$ .

Según Borrajero *et al.* (2004), las zonas donde la radiación solar presenta un comportamiento particular

son las costas, las áreas montañosas e interiores de Cuba, dependiendo, entre otros, de factores como la nubosidad; por esta razón, se elaboraron perfiles de radiación para todos los meses analizados en lugares que cumplieran estas condiciones, puesto que resulta de interés analizar el comportamiento espacial del gradiente. Estos gráficos muestran el comportamiento latitudinal del gradiente entre dos puntos de igual longitud. En la Tabla 1 se observan las coordenadas de los lugares donde se obtuvieron los perfiles.

TABLA 1

Longitud (Lon), Latitud inicial ( $Lat_{(ini)}$ ) y Latitud final ( $Lat_{(fin)}$ ) donde se elaboraron los perfiles para cada región

Región	Lon (o W)	$Lat_{(ini)}$ (o W)	$Lat_{(fin)}$ (o W)
Pinar del Río	83.64	23.02	22.07
Escambray	80.02	22.40	21.57
Cabo Cruz	77.94	20.44	19.81
Sierra Maestra	77.09	20.52	19.81
Punta de Maisí	74.66	20.98	20.02

Se estudiaron las imágenes satelitales correspondientes a los meses analizados obtenidas de la estación receptora de satélite del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). Puesto que no quedaron archivadas todas las imágenes correspondientes a estos seis meses, solo se trabajó con las disponibles; estas corresponden solamente a días donde se observaba algún organismo tropical en el área o la llegada de algún sistema frontal a Cuba.

En los meses analizados no hubo en el territorio afectación directa de ningún ciclón tropical, pero sí indirecta, dado el paso del huracán Claudette por el mar Caribe en julio (Ballester y Rubiera, 2003). De los seis meses que constituyen la base del estudio en este trabajo, cuatro pertenecen a la temporada invernal 2003-2004. Es válido decir que en la temporada (2003-2004), en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero afectaron a Cuba 1, 2, 6 y 4 frentes fríos, respectivamente (García, 2009).

## Discusión de los resultados

### Mapas de gradiente de radiación

La figura 1 muestra los mapas de gradiente de radiación correspondientes a los seis meses de datos analizados; en estos puede observarse que los mayores valores se encuentran en las costas y zonas montañosas, relacionándose los menores con las áreas del interior de Cuba. Estas últimas zonas mantienen ese comportamiento dada la persistencia de la nubosidad a causa de la convección diurna (Lecha *et al.*, 1994).

En julio, las áreas que mantuvieron un gradiente elevado fueron: la zona montañosa de la provincia de Guantánamo (Moa-Baracoa), la costa suroriental y la cayería norte de la provincia de Villa Clara. En el resto del país se aprecian las áreas de mayor gradiente en las costas y las de menor coinciden con la zona interior del territorio. Este mes presenta el máximo gradiente, es decir, el lugar donde ocurrió la variación espacial más brusca del gradiente y se ubica en el grupo montañoso antes mencionado.

En agosto se observa un incremento de las áreas con valores altos de gradientes, coincidiendo estos con las zonas costeras y montañosas. Es válido señalar que en este mes los valores máximos son menores que en el mes anterior, con una diferencia de aproximadamente  $200 (W \cdot h/m^2)/km$ . Es apreciable un cambio bastante abrupto de un mes a otro, teniendo en cuenta que ambos meses poseen características similares de temperatura y humedad. Este cambio abrupto, desde el punto de vista temporal, estuvo dado por un incremento de la nubosidad en la zona de mayor gradiente durante el mes (Moa-Baracoa), por la presencia nubosa de hondonadas y el flujo de arrastre de ciclones tropicales.

Durante octubre, la zona de mayor gradiente se ubicó en el área montañosa de la Sierra Maestra; el máximo del gradiente disminuyó con respecto al mes de agosto en aproximadamente  $200 W \cdot h/m^2/km$ . A partir de este mes se observa una disminución

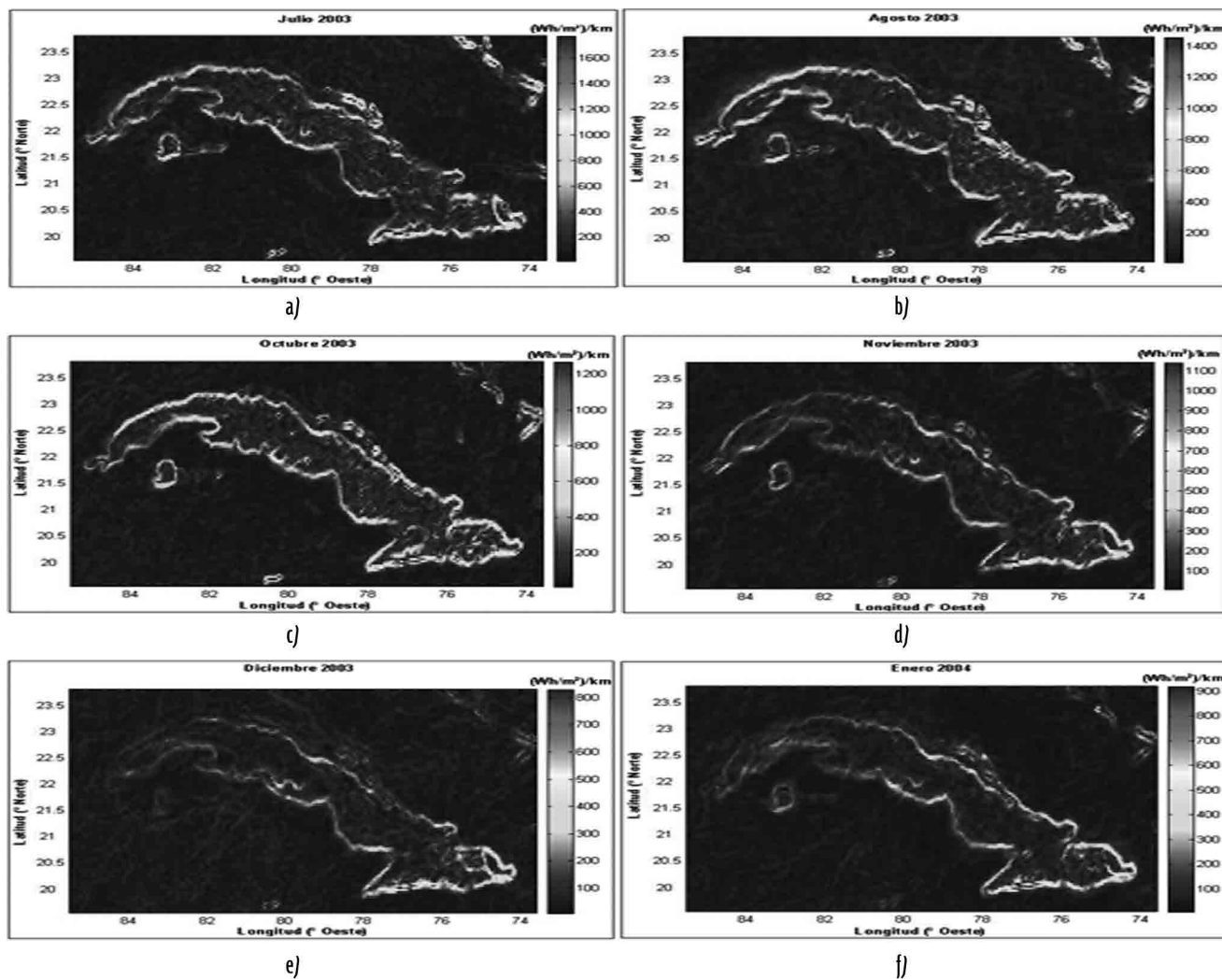


Fig.1 Imágenes del gradiente de radiación: a) julio 2003; b) agosto 2003; c) octubre 2003; d) noviembre 2003; e) diciembre 2003 y f) enero 2004.

progresiva del gradiente en el área montañosa de la costa de Guantánamo (Moa, Baracoa), causada porque el viento predominante en esa zona es del noreste y arrastra mucha humedad; desde el punto de vista climatológico, es la zona donde más llueve durante el año y se caracteriza por la presencia de abundante nubosidad (Lecha *et al.*, 1994). En los meses de invierno, el gradiente en esta zona se hace mucho menor y los máximos se localizan en la costa sur de Granma y Santiago de Cuba (Sierra Maestra).

En la imagen de noviembre se observa una disminución sustancial del gradiente en todo el país, incluso es menor en la costa suroriental con respecto al mes anterior; el valor máximo se encuentra en la Punta de

Maisí. Este comportamiento está dado por el aumento de la nubosidad y su persistencia a causa de la afectación de dos sistemas frontales en este mes y de uno en el mes anterior; por ello, se observa un aumento del gradiente de oeste-este en el territorio, en correspondencia con la disipación de estos sistemas. En presencia de un sistema frontal, las características entre el mar y tierra se hacen prácticamente iguales, dada la presencia de una capa nubosa extensa y homogénea.

El gradiente de radiación durante diciembre fue el menor de los seis meses analizados, con una disminución del valor máximo aproximadamente de  $300 W \cdot h/m^2/km$  respecto del mes anterior. Estos valores bajos se deben a la abundante nubosidad asociada a seis sis-

temas frontales que afectaron el territorio. El mayor gradiente este mes se determinó en la Sierra Maestra.

En enero se aprecia un incremento del gradiente en las costas del centro del país y el valor máximo se localiza en la Sierra Maestra, con un incremento de  $100 \text{ (W} \cdot \text{h/m}^2\text{)/km}$ , en relación con el comportamiento del mes anterior. En enero es de esperar un gradiente menor que en diciembre, porque, desde el punto de vista climatológico, este mes presenta la mayor cantidad de frentes fríos que han llegado a Cuba (González, 2000). Se considera que el gradiente en enero mantuvo este comportamiento dado el tamaño de la muestra, puesto que en este mes de la temporada invernal solo afectaron cuatro sistemas.

### Perfiles de radiación

En la figura 2 pueden apreciarse los lugares donde se realizaron los perfiles de radiación. Las saetas indican la dirección empleada de norte a sur.

La figura 3 muestra los perfiles correspondientes a la zona de Pinar de Río, donde se observa que el gradiente es abrupto en la costa norte y hacia el sur tiene un comportamiento gradual. Puede apreciarse que julio, agosto y octubre presentan un comportamiento similar; lo mismo ocurre en noviembre, diciembre y enero. En los primeros tres meses, los mayores va-

lores de gradiente tienen lugar en la costa norte y es más fuerte hacia el interior de la costa que hacia el mar. Los mínimos se asocian con las zonas que durante el día presentan mayor cantidad de nubosidad, a causa de la convección diurna.

Los perfiles realizados en el Escambray se inician en la zona montañosa y terminan en el mar. Como se observa en la figura 4, los valores menores ocurren en la zona no montañosa, entre la costa y las elevaciones, mientras que los máximos se encuentran en el mar. La diferencia entre las zonas montañosa y llana no es significativa, ambas áreas tienen valores bastante próximos; la diferencia entre estas zonas no es superior a  $400 \text{ (W} \cdot \text{h/m}^2\text{)/km}$ .

Los perfiles realizados en la región de Cabo Cruz muestran un gradiente abrupto, debido a que es muy poca la extensión de tierra entre las aguas del golfo de Guacanayabo y el mar al sur de la costa oriental. Puede apreciarse en la figura 5 que los máximos se relacionan con el mar, y los mínimos, con la tierra; es válido resaltar que la diferencia en el gradiente entre el mar y la tierra en los tres primeros meses analizados es mayor que  $2\,000 \text{ (W} \cdot \text{h/m}^2\text{)/km}$  y la diferencia en los tres meses invernales es menor que  $1\,000 \text{ W} \cdot \text{h/m}^2\text{/km}$ .

En la figura 6 pueden observarse los perfiles realizados en la zona montañosa de la Sierra Maestra,

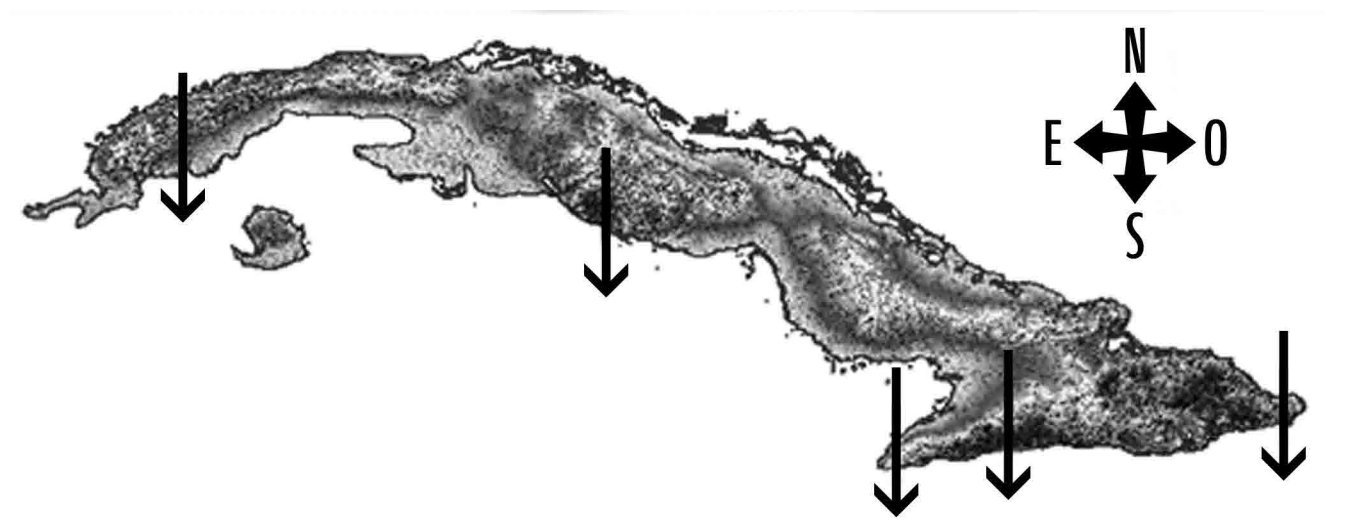


Fig. 2 Mapa de dirección y trayectoria de los perfiles de radiación.

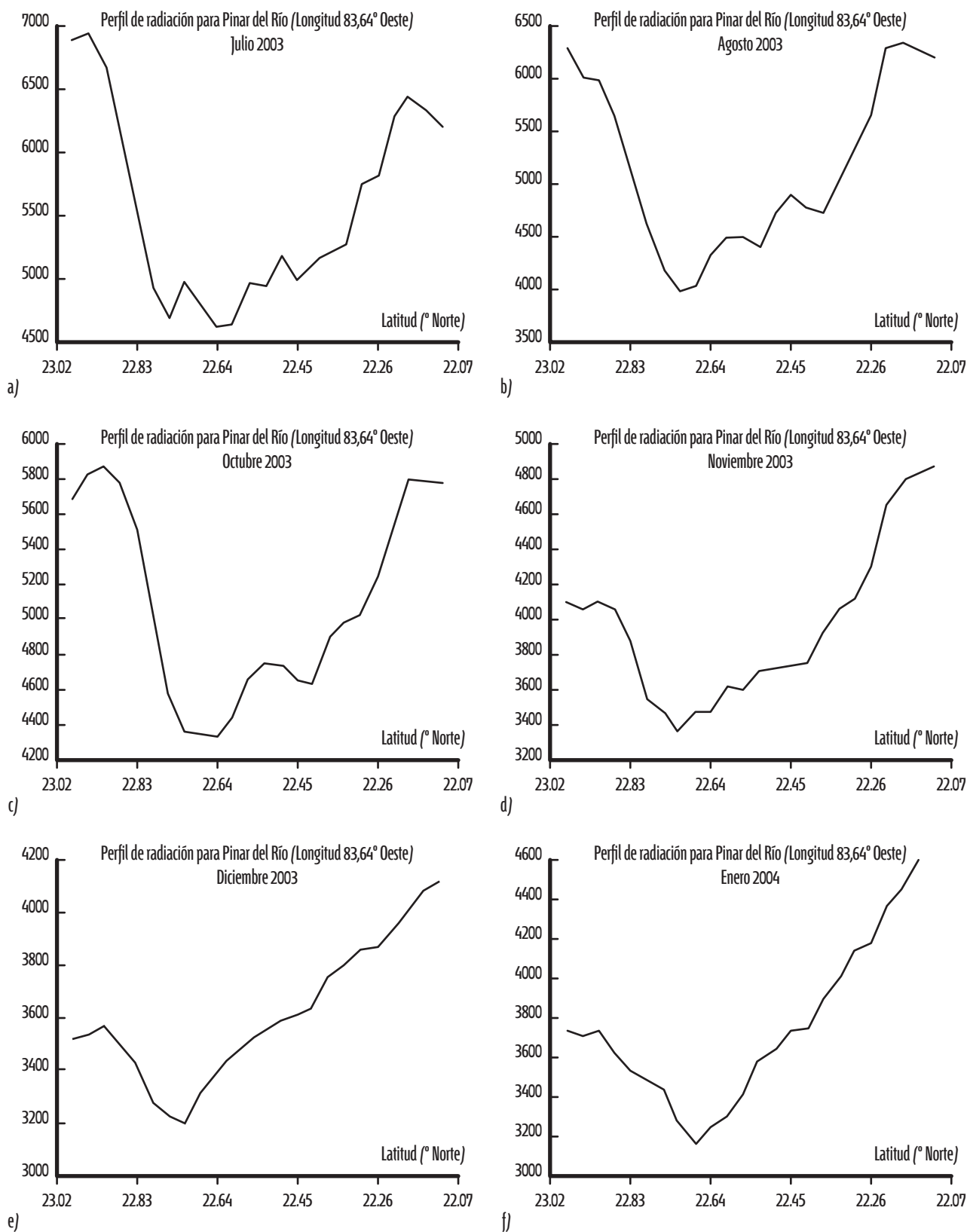


Fig. 3 Perfiles de Pinar del Río: a) julio 2003; b) agosto 2003; c) octubre 2003; d) noviembre 2003; e) diciembre 2003 y f) enero 2004.





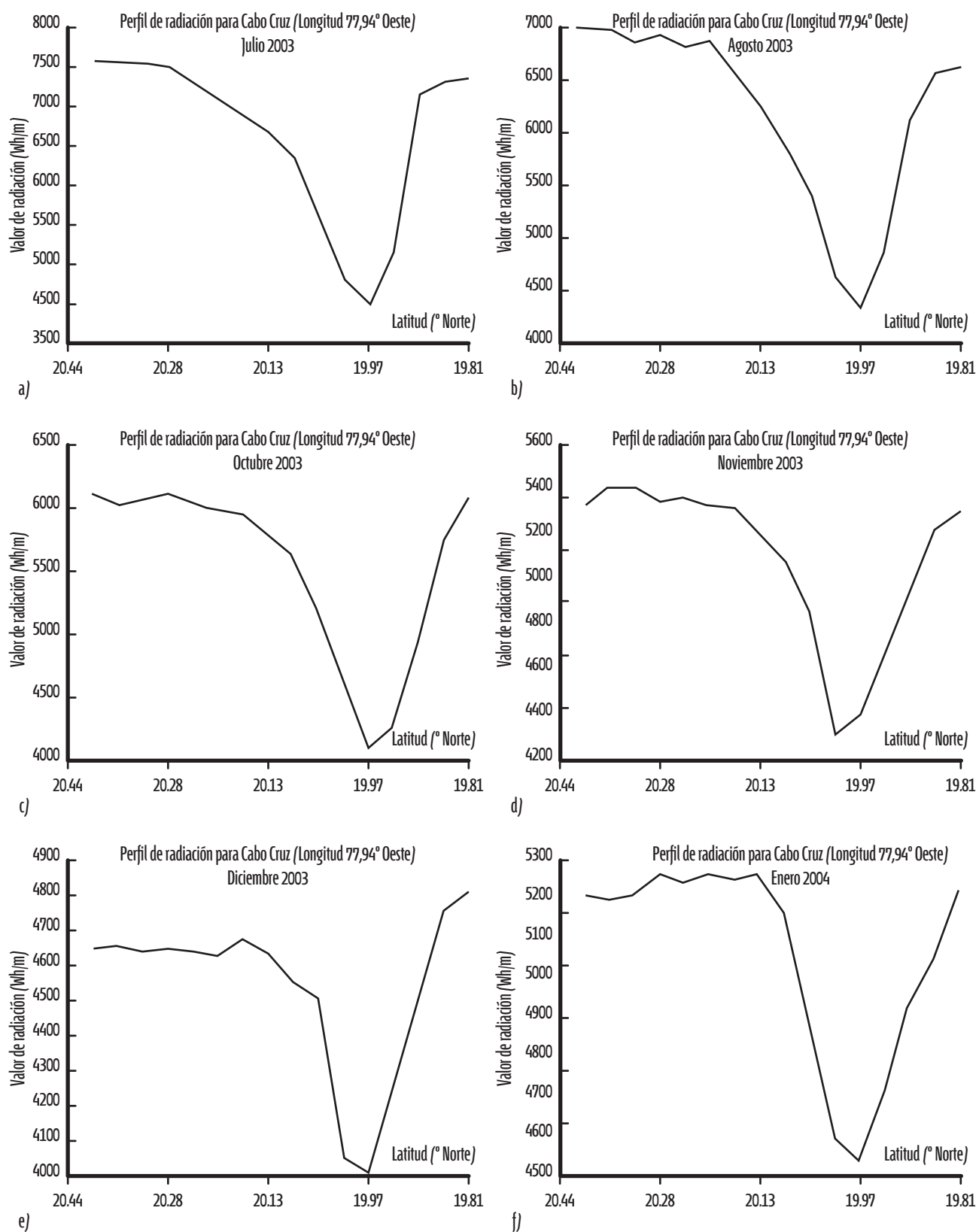


Fig. 5 Perfiles de Cabo Cruz: a) julio 2003; b) agosto 2003; c) octubre 2003; d) noviembre 2003; e) diciembre 2003 y f) enero 2004.

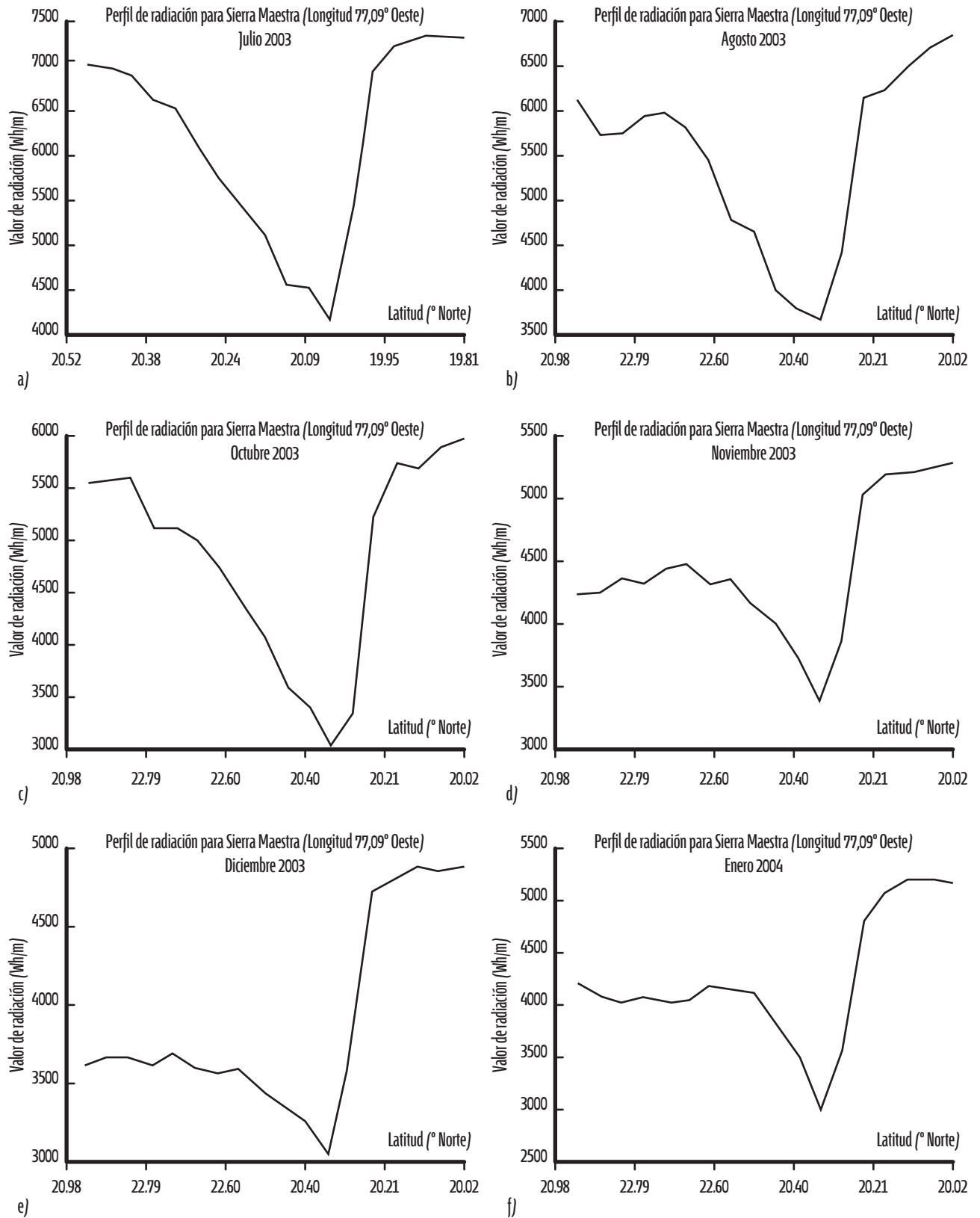


Fig. 6 Perfiles de la Sierra Maestra: a) julio 2003; b) agosto 2003; c) octubre 2003; d) noviembre 2003; e) diciembre 2003 y f) enero 2004.

en los cuales se aprecia que la variación de la radiación es muy abrupta, principalmente al sur, debido al sistema montañoso de gran elevación situado en la costa. En julio, agosto y octubre la diferencia del gradiente entre las zonas montañosas y llanas es mayor que  $2\,500\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$ ; y entre el mar y la región llana no es muy diferente, a excepción de agosto, que presenta una diferencia de, aproximadamente,  $1\,800\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$ . En los meses invernales, la diferencia varía entre  $1\,500\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$  y  $1\,200\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$ , con la particularidad de diciembre, cuando esta diferencia es de solo  $600\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$ . La variación espacial de la radiación entre el mar y la tierra es más notable en estos meses que en los de verano, con una diferencia entre  $1\,000\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$  y  $1\,200\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$ .

La figura 7 muestra que la singularidad de los perfiles realizados en la Punta de Maisí radica en que presenta un máximo secundario del gradiente en el interior de la tierra, puesto que los valores mayores a este representan el mar. Este comportamiento se debe a la existencia de una zona que se comporta igual que la costa y que coincide con el área de mayor elevación del grupo montañoso Moa-Baracoa. El gradiente entre el mar al norte y al sur de esta zona es similar, aunque en los meses de invierno el valor del gradiente de las aguas al norte es menor que el de las que se encuentran al sur del área. La diferencia entre máximos y mínimos es de, aproximadamente,  $3\,500\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$  para julio y agosto,  $2\,500\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$  en octubre,  $2\,000\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$  en noviembre,  $1\,000\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$  en diciembre y  $1\,500\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$  en enero. La diferencia entre los valores mínimos y el valor máximo terrestre durante los meses de verano es de  $800\text{ (W}\cdot\text{h/m}^2\text{)/km}$ ; durante los meses invernales, la diferencia no es significativa.

## Conclusiones y recomendaciones

A pesar del corto período de los datos empleados, se corrobora que en Cuba los valores de radiación menores ocurren en áreas del interior del país, por el desarrollo de la nubosidad que caracteriza estas zonas a causa de la convección, mientras que los valores mayores se relacionan con las zonas costeras y montañosas.

Mediante los perfiles de radiación se comprobó que las zonas costeras entre áreas montañosas y el mar no presentan valores de radiación altos, como es el caso de las zonas costeras al sur del Escambray y la Sierra Maestra.

Se evidenció que la costa norte presenta gradientes más abruptos en comparación con la costa sur, la que exhibe un comportamiento más gradual en este sentido.

En los meses de verano, la zona con mayor gradiente es el área montañosa en el norte de la provincia de Guantánamo; mientras que en los meses invernales, es la zona montañosa de la Sierra Maestra.

Se recomienda realizar los perfiles de radiación en otras áreas de interés, puesto que estos resaltan características específicas de cada zona.

Se recomienda ampliar la muestra de trabajo para estudios futuros, puesto que estos resultados son de utilidad en la planificación de las actividades agrícolas, arquitectónicas e ingenieriles, así como en el turismo y dado su potencial como energía renovable.

## Referencias bibliográficas

- Álvarez-Guerra, M. y V.M. Ramos, (1992) Manual de Radiación Solar de la República de Cuba. Fondo de Manuscritos del CITMA.
- Ballester, M. y J. Rubiera, (2003) Resúmenes de temporadas ciclónicas. Instituto de Meteorología de Cuba. INSMET. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, disponible en: <http://www.met.inf.cu/asp/genesis.asp?TBO=PLANTILLAS&TB1=TEMPORADA&TB2=/Temporadas/temporada2003.htm>
- Bird, R. and C. Riordan, (1984) Simple Solar Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Hori-

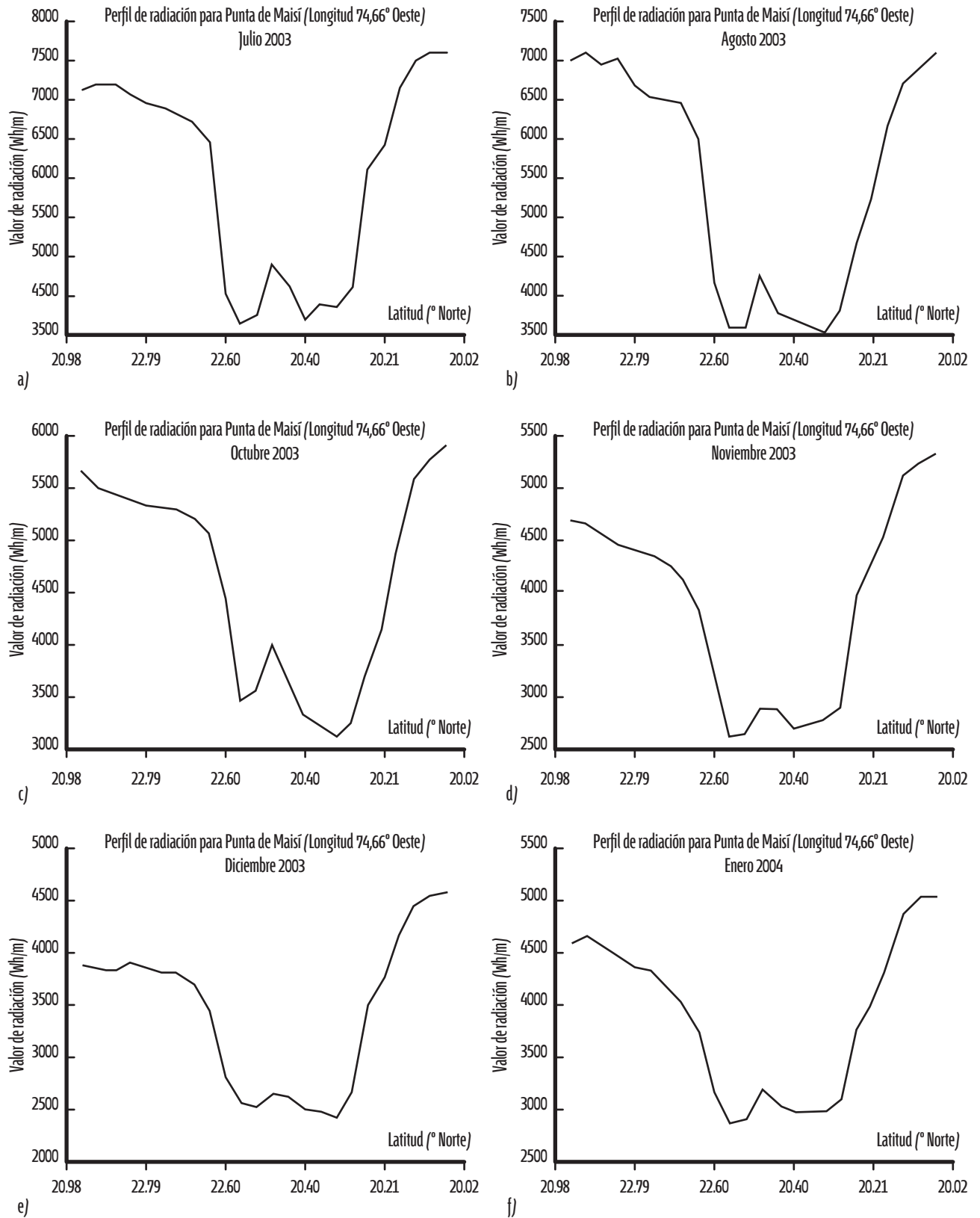


Fig. 7 Perfiles de la Punta de Maisí: a) julio 2003; b) agosto 2003; c) octubre 2003; d) noviembre 2003; e) diciembre 2003 y f) enero 2004.

- zontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres, disponible en: <http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/spectral/model/titlepg.html>
- Borrajero, I.; Peláez, J. C.; Campos, A.; Bezanilla, A.; Gutiérrez, M.; Rodríguez, G.; Ayala, L.; Lavastida, L.; Ojeda, J. C.; Angulo, G.; Fernández, C. y D. Martínez, (2000) Atlas de potencial eólico y solar de Cuba. Disponibilidad del Recurso Solar. Informe Final de Proyecto, INSMET, 45 pp.
- Borrajero, I.; Peláez, J. C.; Campos, M. A.; Ayala, P. L.; Rivero, LL. I.; Fernández, C. C.; Angulo, LL. G. y P. L. Muñoz, (2004) Distribución de la radiación solar en Cuba (1986-1988). Metodología. Centro de Física de la Atmósfera, INSMET, La Habana, Noviembre del 2004, 89 pp.
- Borrajero, I.; Lavastida, L.; Pozo, R. D. y J. C. Peláez, (2005) Método de estimación de la radiación solar global a partir de imágenes de satélite GOES. Memorias del III Congreso Cubano de Meteorología. La Habana, Cuba, 5-9 de Diciembre del 2005.
- Campos, A. *et al.*, (1987) Cálculo de fórmulas empíricas para los flujos de radiación solar en Cuba. Trudi III Meshdunarodnovo Simposia po Tropisheskoi Meteorologi. Leningrado, Cap. VIII, pp. 415-423.
- Campos, A. *et al.*, (1988) Mapas de la media de la suma diaria de la radiación global y de la suma anual de la insolación para la República de Cuba e información complementaria. Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía de Cuba, Instituto cubano de Geodesia y Cartografía. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana. Sección Clima, pp VI. 1.1.4
- García, E., (2009) Comunicación personal.
- González, P. C., (2000) Características de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1916-17 hasta 1999-2000. Boletín de SOMETCUBA. vol. 6, no.2, disponible en: [http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/v06\\_n02/espanol/records\\_esp.htm](http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/v06_n02/espanol/records_esp.htm)
- Lecha, L. B., Paz, L. R. y B. Lapinel, (1994) El clima de Cuba. Instituto de Meteorología de Cuba, Ed. Academia, pp. 10-18.
- Lavastida, L., (2005) Estimación de flujos de radiación solar a partir de imágenes de satélite GOES. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en ciencias Meteorológicas. Fondo Bibliotecario del INSMET, 34 pp.
- Martínez, E. y M. A. Campos, (1984) Climatología de la radiación solar en La Habana: Un estudio a mesoescala. Informe técnico, INSMET, 14 de Mayo de 1984, Fondo Bibliotecario del INSMET, La Habana, 5 pp.
- Martínez, E. e I. Pomares, (1999) Método de cálculo de la radiación solar UV en atmósferas turbias sin nubosidad. Informe Científico Técnico. Proyecto 01303021, INSMET.
- Peláez, J. C.; Borrajero, M. I. y M. A. Campos, (2005) La radiación solar en Cuba como recurso energético. Memorias del III Congreso Cubano de Meteorología. La Habana, Cuba, 5-9 de Diciembre del 2005.
- Rivero, H., (2000) Determinación de la radiación solar global a partir de imágenes de satélite GOES. Tesis presentada para la opción de máster en ciencias meteorológicas. Fondo Bibliotecario del INSMET, La Habana, T 48-2000, 79 pp.
- Rivero, R. E.; Lapinel, B. P. y R. R. Rivero, (1995) Mapas de radiación global, evaporación potencial e índices de aridez para Cuba. Resultado Destacado Nacional, Resolución 63/90 del CITMA, INSMET.
- Rodríguez, G. M., (2002) Evaluación de un método de estimación de la radiación solar a partir de registros heliográficos en las provincias habaneras. Tesis de Maestría, Fac. de Física, Universidad de La Habana, MES.
- Vigón, F.; Campo, A. e I. Borrajero, (1988) Elaboración del mapa solarimétrico de radiación global para la República de Cuba. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 1, No. 4, pp. 79 - 86.