

Cuadernos de investigación de la UCA

# Radiación solar y atmosférica en Managua:1998

Julio López de la Fuente SJ



Cuaderno N° 3  
Colección Naturaleza

*Cuadernos de Investigación de la UCA* es una publicación de la Dirección de Investigación de la Universidad Centroamericana (UCA). Los trabajos publicados en los *Cuadernos* expresan las opiniones de sus autores y no necesariamente la de la Dirección de Investigación de la UCA. Su contenido puede ser reproducido, citando la fuente y enviando copia de lo publicado a la siguiente dirección: *Cuadernos de Investigación de la UCA*. Dirección de Investigación. Apartado postal 69. Fax: (505) 267-0106. Teléfono: (505) 278-3923 al 3927. Managua, Nicaragua. Correo electrónico: encuentr@ns.uca.edu.ni

---

**Director**

*Marcos Membreño Idiáquez*

**Asistentes de edición**

*Iván Marín Argüello*  
*David Orozco Gonzalez*

**Mercadeo y distribución**

*Roxana Guerrero Guillén*

**Impresión**

*Imprenta I. T. S. A.*

**Diseño y diagramación**

*Fernando Ulises Centeno López*  
*Imprenta UCA*

---

La Universidad Centroamericana (UCA) de Managua es una universidad privada de servicio público e inspiración cristiana, administrada por los jesuitas. Fue fundada en 1960.

Además de la Dirección de Estudios Generales y la Dirección de Posgrado, la UCA posee cinco Facultades: Humanidades, Ciencias Jurídicas, Ciencias Económicas y Empresariales, Comunicación, y Ciencias y Tecnología del Ambiente.

También forman parte de la universidad, el *Instituto de Investigación y Desarrollo "Nitlapán"*, el *Instituto de Historia de Nicaragua y Centroamérica (IHNCA)*, el *Centro de Análisis Socio Cultural (CASC)*, el *Programa de Promoción de la Reforma Educativa de América Latina (PREAL)*, el *Instituto de Encuestas y Sondeo de Opinión (IDESO)*, el *Centro de Investigación y Documentación de la Costa Atlántica (CIDCA)*, el *Instituto Juan XXIII*, el *Centro de Investigación del Camarón (CIC)*, el *Centro de Malacología*, la *Estación Solar VADSTENA-UCA* y el *Centro de Biología Molecular (CBM)*.

---

## INDICE

	pág.
Introducción.	4
1. El brillo solar y las nubes	5
2. La radiación solar: directa, difusa y global	6
3. La Correlación de Ångström y la Nueva Correlación	9
4. Dos contribuyentes principales de la radiación difusa	12
5. Un "día limpio"	15
6. La radiación solar: valores medios y totales - Máx. y Mín.	15
7. Las frecuencias de la radiación solar	19
a) Radiación global	20
b) Radiación difusa	20
c) Radiación directa, NIP	20
d) Brillo solar	30
8. La radiación solar: 2/3 partes del día, desde el mediodía	30
9. La radiación fotosintética	32
10. La temperatura ambiental. frecuencias	34
11. La radiación infrarroja. Valores horarios, diarios y mensuales. Frecuencias.	43
Resultados y conclusiones	49
Agradecimientos	52

## Introducción

Una base de datos de la radiación solar y atmosférica, con su consiguiente análisis, constituye una valiosa contribución y una ayuda insustituible para los estudios del impacto ambiental, cambios climáticos y análisis de la contaminación atmosférica; sobre todo en un área donde escasean registros y mediciones de alta calidad.

Este cuaderno de investigación contiene los datos solares registrados por la estación actinométrica Vadstena - UCA, a lo largo del año 1998 en Managua, que presentó unos fenómenos no usuales.

Durante 1998 ocurrieron el eclipse solar parcial (75%) del 26 de febrero, las erupciones solares durante la segunda década del mes de mayo y el huracán Mitch; que nos afectó a lo largo de 9 días en la tercera década de octubre.

Con el objeto de contar con un número estadísticamente significativo de muestras, se escogió un período medio de décadas, en vez de tomar los valores medio mensuales. Así, el valor medio de los días mensuales estará comprendido entre 1-10, 11-20 y del 21 al final del mes. Con todo, cuando aparezca la necesidad de comparar comportamientos con respecto a registros de mayor duración, utilizaremos los valores medio mensuales de la última década de años (1989-1998).

Apoyándonos en valores medios, de las décadas de 1998 ó de los meses de 1989-98, expon-dremos las diversas correlaciones, algunas inéditas, que se originan entre las diferentes variables solares y meteorológicas. De este modo, mostraremos el comportamiento del clima en Managua durante el año 1998 y a lo largo de la pasada década 1989-98.

## 1. El brillo solar y las nubes

El término "brillo solar" se deriva del hecho que considera darse un "sol brillante", cuando un objeto iluminado por el sol proyecta una sombra bien definida.

La duración del brillo solar se determina, desde hace años, a partir de los registros del heliógrafo Campbell-Stockes. Este instrumento consta de una bola de cristal que concentra el haz directo del sol sobre una tarjeta especial, la cual se chamusca cuando el flujo luminoso solar alcanza un umbral térmico.

Pero las condiciones ambientales, sobre todo a la salida y puesta del sol, el paso de las nubes, la calidad del cristal-lente, el material de la tarjeta-registro que se humedece con la lluvia, etc., ocasionan cambios en el efectivo umbral energético.

Hasta 1981, se consideró práctico el umbral de  $200 \text{ W/m}^2$  como representativo del brillo solar, pero a partir de entonces la OMM lo fijó en  $120 \text{ W/m}^2$ .

Cuando el día es "limpio o sin nubes", se dará una duración  $S_0$  de horas solares. Con la presencia de nubes, contaminación atmosférica o sombras de objetos cercanos, el brillo solar alcanzará una duración de  $S_1$  hrs (umbral  $120 \text{ W/m}^2$ ) o de  $S_2$  hrs (umbral  $200 \text{ W/m}^2$ ). Así pues, al final del día se habrán registrado las fracciones diarias de  $(S_1/S_0)$  y  $(S_2/S_0)$ , para cada umbral considerado. Los valores  $S_1$  y  $S_2$ , en la estación Vadstena, se obtienen midiendo el haz directo solar o NIP con un programa de Visual Basic.

La cantidad total de la cobertura de nubes se calcula considerando el aparente área del hemisferio celeste cubierto por las nubes. La cúpula celeste es dividida en ocho partes ("octas") y se observa la extensión de la cobertura de nubes. La observación, un tanto subjetiva, se facilita estableciendo tres niveles

en la altura de la nubosidad y diferentes tipos de nubes; desde los cirrus a 10kms de altura, con sus finos y transparentes cristales de agua, hasta las nubes bajas o cúmulos, que son densas, con color oscuro a menos de 1km del suelo.

Tres observaciones diarias de las nubes (8am, 12am, 4pm) producen un registro muy confiable en su evaluación estadística. Claro está, este tipo de observación y registro tiende a sobrevalorar la medición y el error es considerado en  $\pm 1$  octa.

La presencia de nubes disminuye el brillo solar y viceversa; razón por la cual se da una correlación negativa entre la cobertura de nubes y el brillo solar. Biga y Rosa (1980:265-272) han propuesto una correlación del tipo :

$$1 - \text{Oct}/8 = F[(S_1/S_0), (S_1/S_0)^2, (S_1/S_0)^3] \quad (1)$$

Josefsson (1988) transformó esta correlación tomando  $(1 - (\text{Oct}/8)^{1.6})$ , a fin de reducir la dispersión de los valores centrales.

Para las 36 décadas de 1998 obtenemos

$$1 - (\text{Oct}/8)^{1.6} = 0.346926 \times (S_1/S_0) + 2.25211 \times (S_1/S_0)^2 - 1.55895 \times (S_1/S_0)^3 \quad (2)$$

con coeficiente de correlación (cc) o  $R^2$  ajustado = 99.5085% y un error standard de (E.S.) = 0.034255;  $0.16 \leq (S_1/S_0) \leq 0.87$ ;  $0.09 < (\text{Oct}/8) < 0.94$ .

Observemos que la expresión (2), para un día cubierto del todo ( $\text{Oct} = 8$ ,  $S_1 = 0$ ), pasa por el punto origen, mientras en un día limpio ( $\text{Oct} = 0$ ,  $S_1 = S_0$ ) toma el valor de 1.040086 con respecto al teórico de unidad. Con todo, el primer término de (2) tiene un bajo valor estadístico y podemos apartarlo en una nueva correlación:

$$1 - (\text{Oct}/8)^{1.6} = 3.39751 \times (S1/S0)^2 - 2.44928 \times (S1/S0)^3 \quad (3)$$

con  $R^2$  ajustado =99.4816% y  
E.S.=0.036879.

Para (Oct=8, S1= 0) (3) pasa también por el origen; y con (oct=0, S1=S0) toma el valor de 0.94823 frente al teórico de la unidad.

Al incrementarse la cobertura de nubes, decrece la duración del brillo solar y podemos esperar una correlación entre la fracción (S1/S0) con respecto a (S2/S0) y las octas; a saber:

$$S1/S0 = 1.06760 \times (S2/S0) + 0.07215 \times (\text{oct}/8) \quad (4)$$

con  $R^2$  adjt =99.8824%; E.S.=0.020863.

El gráfico 1 presenta para las décadas 98, las diversas variables de la duración del sol, el brillo solar y la cobertura de nubes. Obsérvese como S0 varía entre 11.29 hrs y 12.71 hrs según una curva senosoidal, mientras a la correlación positiva entre (S1/S0) y (S2/S0) le corresponde una correlación negativa con las oct/8.

Las décadas 1-12, 31-36, corresponden al verano tropical, cuando el brillo solar es de alta duración y la cobertura de nubes se mantiene baja. Por el contrario, el invierno tropical aparece entre las décadas 13 y 33, con valores contrapuestos a sus correspondientes del invierno. Nótese en la década 30 (21-31/oct) la presencia del huracán Mitch, donde las variables toman valores extremos confirmando las expresiones (3) y (4).

Para la década 1989-98, con valores medio mensuales, obtenemos la correspondiente correlación a la expresión (3) :

$$1 - (\text{Oct}/8)^{1.6} = 3.28228 \times (S1/S0)^2 - 2.45995 \times (S1/S0)^3 \quad (5)$$

con  $R^2$  adjt =98.7082%; E.S.=0.077634

cuyos coeficientes son muy semejantes a los de (3). Así pues, la correlación (3) presenta el mismo comportamiento tanto para valores medios de décadas como para valores medios mensuales, mostrando una gran regularidad de clima en cuanto al brillo solar y a la cobertura de nubes.

## 2. La radiación solar: directa, difusa y global

En todo instante, sobre una superficie plana terrestre, se verifica la siguiente relación, fig. 1:

$$\text{Glb} = \text{Directa} \times \text{SnH} + \text{Difusa} \quad (6)$$

donde Glb, es la radiación solar global,  $w/m^2$ ; Directa o NIP, es la radiación directa normal,  $w/m^2$ ; Difusa, es la radiación solar difusa,  $w/m^2$ ; SnH, es el seno de la altura solar; de modo que  $\text{NIP} \times \text{SnH}$  es el componente horizontal (BeamH) del haz directo del flujo solar. Sobre una superficie terrestre horizontal (6) se convierte en:

$$\text{Glb} = \text{BeamH} + \text{Difusa} \quad (7)$$

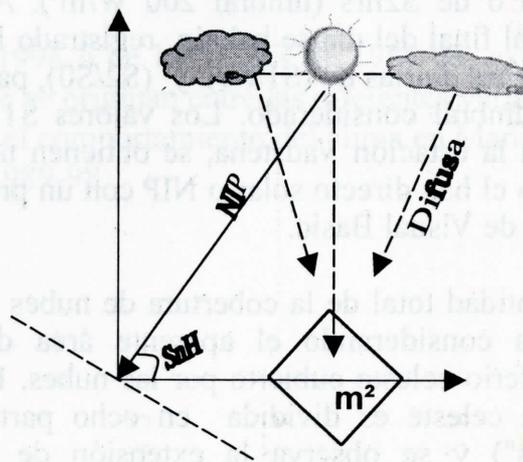
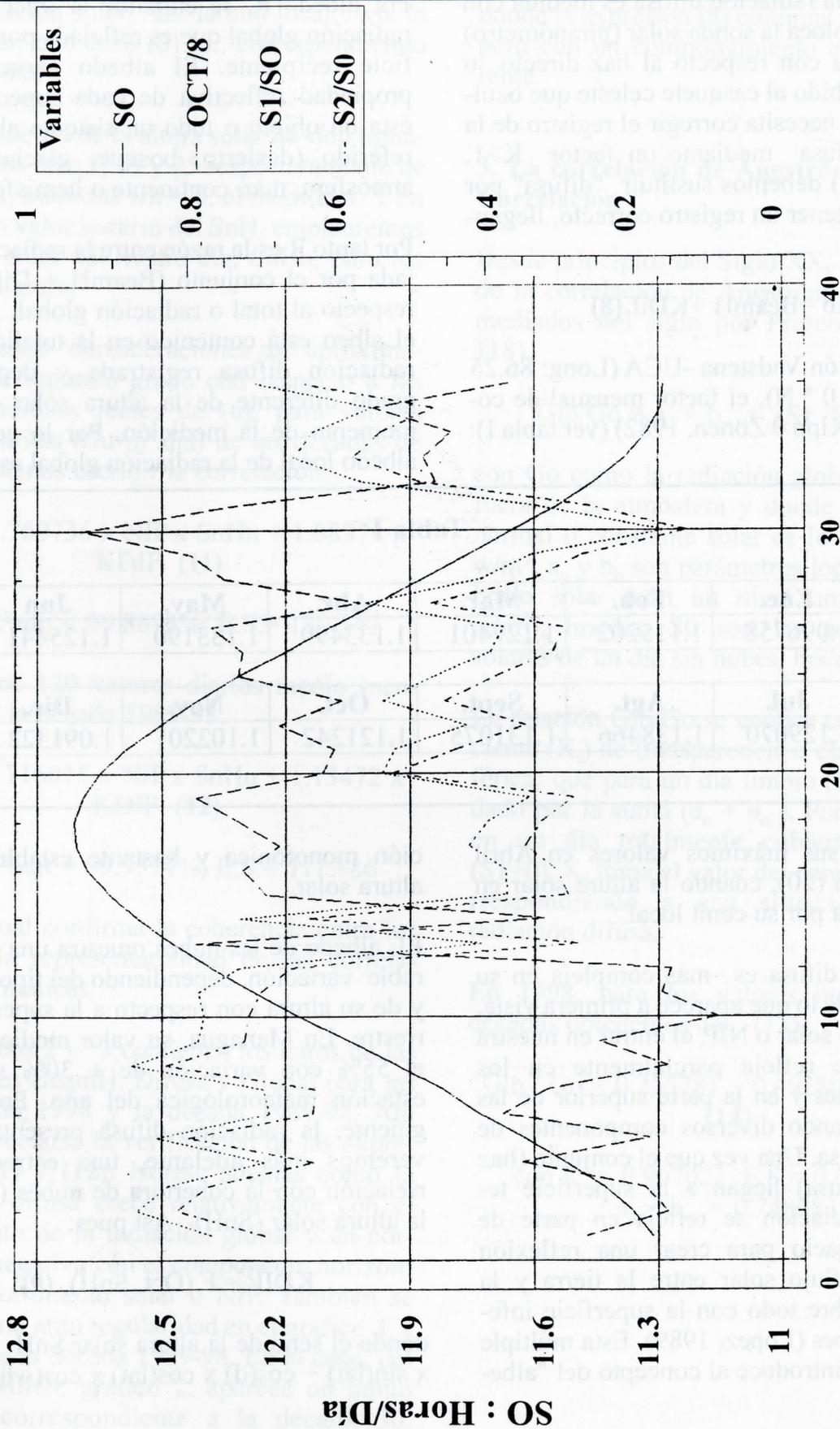


fig. 1

Gráfico 1

Hrs Solares SO, S1/SO, S2/SO, Octas/8



Décadas Enr - Dic 1998

Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

Ahora bien, la radiación difusa es medida con un aro que coloca la sonda solar (piranómetro) en la sombra con respecto al haz directo o NIP. Pero, debido al casquete celeste que oculta el arco, se necesita corregir el registro de la radiación difusa mediante un factor  $K > 1$ . Luego, en (7) debemos sustituir "difusa" por  $Kd_{if}$  para obtener un registro correcto, llegando a:

$$G_{lb} = \text{BeamH} + Kd_{if} \quad (8)$$

Para la estación Vadstena -UCA (Long: 86.25 ° 0, Lat: 12.10 ° N), el factor mensual de corrección  $K$  (Kipp  $\theta$  Zönen, 1982) (ver tabla I):

**Tabla I**

<b>Ene.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>May.</b>	<b>Jun</b>
1.096758	1.115202	1.127401	1.133499	1.133190	1.125441
<b>Jul.</b>	<b>Agt.</b>	<b>Sept.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>
1.129070	1.138466	1.131075	1.121242	1.102201	1.091322

$K =$

que alcanza sus máximos valores en Abril (22) y Agosto (20), cuando la altura solar en Managua pasa por su cenit local.

La radiación difusa es más compleja en su constitución de lo que aparece a primera vista. El haz directo solar o NIP, al entrar en nuestra atmósfera, se refleja parcialmente en los gases, aerosoles y en la parte superior de las nubes, originando diversos componentes de radiación difusa. Una vez que el conjunto (haz directo y difusa) llegan a la superficie terrestre, la radiación se refleja en parte de vuelta al espacio para crear una reflexión múltiple del flujo solar entre la tierra y la atmósfera; sobre todo con la superficie inferior de las nubes (López, 1989). Esta múltiple reflexión nos introduce al concepto del "albedo (R)".

Por albedo  $R$ , se entiende la fracción de la radiación global que es reflejada por la superficie recipiente. El albedo caracteriza la propiedad reflectiva de cada superficie, sea ésta un objeto o todo un sistema al que está referido (desierto, bosque, glaciar, nubes, atmósfera, mar, continente o hemisferio).

Por tanto  $R$  es la razón entre la radiación reflejada por el conjunto (BeamH + Difusa) con respecto al total o radiación global. Así pues, el albedo está contenido en la totalidad de la radiación difusa registrada y depende en grado diferente de la altura solar ( $S_nH$ ) al momento de la medición. Por lo general, el albedo local de la radiación global es una fun-

ción monotónica y bastante estable con la altura solar.

El albedo de las nubes muestra una considerable variación, dependiendo del tipo de nube y de su altura con respecto a la superficie terrestre. En Managua, su valor medio alcanza el 55% con variación de  $\pm 30\%$  según la estación meteorológica del año. Por consiguiente, la radiación difusa presenta, como veremos más adelante, una estrecha correlación con la cobertura de nubes (octas) y la altura solar ( $S_nH$ ). Así pues:

$$KDIF = F(\text{Oct}, S_nH) \quad (9)$$

donde el seno de la altura solar  $S_nH = \sin(d) \times \sin(\text{lat}) + \cos(d) \times \cos(\text{lat}) \times \cos(\text{wh}) \quad (10)$

d: declinación solar; lat: latitud local; wh: la hora solar, con cero (0) hr., correspondiendo al mediodía.

El valor medio de la altura solar ha sido tomado para los días 5, 15 y 25 respectivamente de cada mes; mientras wh = 0, el mediodía. Y en vez de un valor horario del SnH, emplearemos la altura solar del medio día, SnHn, para los valores diarios.

Aunque estas consideraciones son aproximaciones de segundo grado con respecto a las consideraciones reales de (6), para valores medio-diarios (Whr/m<sup>2</sup>.día) de las décadas de 1998 podemos escribir la correlación:

$$\text{Glb} = 0.760736 \times \text{NIP} \times \text{SnHn} + 1.08374 \times \text{KDIF} \quad (11)$$

$$\text{con } R^2_{\text{adjt}} = 99.8896\%; \text{ E.S.} = 180.147$$

Y para los 120 valores diarios medio mensuales de la década 1989-98:

$$\text{Glb} = 0.716015 \times \text{NIP} \times \text{SnHn} + 1.13472 \times \text{KDIF} \quad (12)$$

$$\text{con } R^2_{\text{adjt}} = 99.9574\%; \text{ E.S.} = 111.886$$

todo lo cual confirma la coherencia entre los datos y la representatividad de las correlaciones climáticas.

Los gráficos 2 y 3 contienen los datos de las radiaciones BeamH, Difusa y Global para las décadas de 1998 y la década 1989-98. Ahí puede apreciarse la verificación de las expresiones (11) y (12). Nótese además como la radiación difusa crece relativamente con el crecimiento de la radiación global y en correlación negativa con el componente horizontal del haz directo solar o NIP. También se observa una gran regularidad en el gráfico 3, a lo largo de la década 1989-98. En el caso, del huracán Mitch, gráfico 2, aparece un punto singular correspondiente a la década 30,

donde la expresión (8) continúa verificándose, pero con un comportamiento climático diferente.

### 3. La correlación de Ångström y la Nueva Correlación

Desde principios del Siglo XX, se ha empleado la correlación de Ångström, modificada a mediados del siglo por Prescott (1940:114-118).

$$\text{Glb}/\text{Go} = a_0 + b_0 \times (\text{S1}/\text{S0}) \quad (13)$$

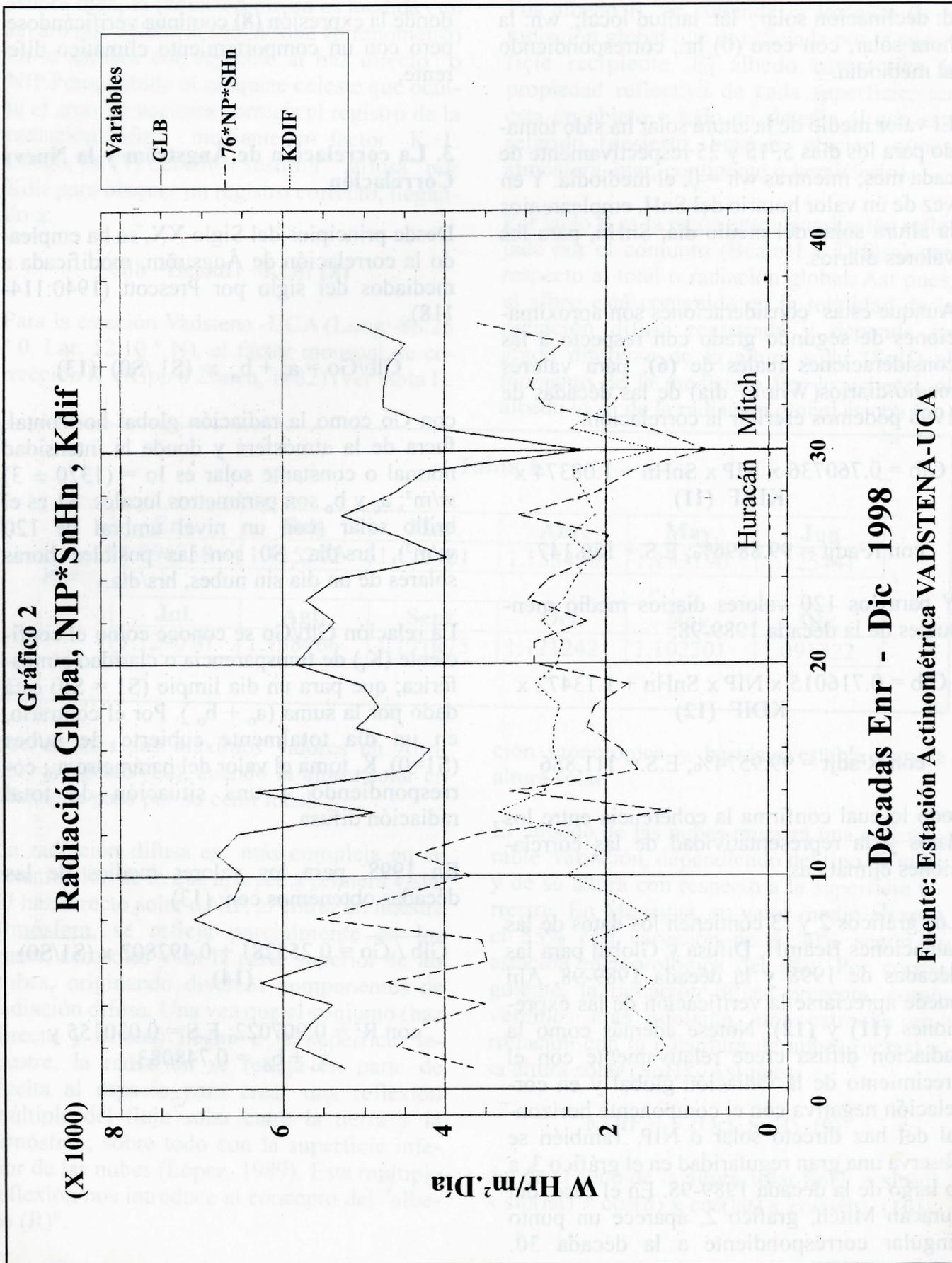
con Go como la radiación global horizontal, fuera de la atmósfera y donde la intensidad normal o constante solar es  $I_0 = (1370 \pm 3) \text{ w/m}^2$ ;  $a_0$  y  $b_0$  son parámetros locales. S1 es el brillo solar (con un nivel umbral de 120 w/m<sup>2</sup>), hrs/día; S0 son las posibles horas solares de un día sin nubes, hrs/día.

La relación Glb/Go se conoce como el coeficiente ( $K_t$ ) de transparencia o claridad atmosférica; que para un día limpio ( $\text{S1} = \text{S0}$ ) está dado por la suma ( $a_0 + b_0$ ). Por el contrario, en un día totalmente cubierto de nubes ( $\text{S1}=0$ ),  $K_t$  toma el valor del parámetro  $a_0$ ; correspondiendo a una situación de total radiación difusa.

En 1998, para los valores medios de las décadas obtenemos con (13)

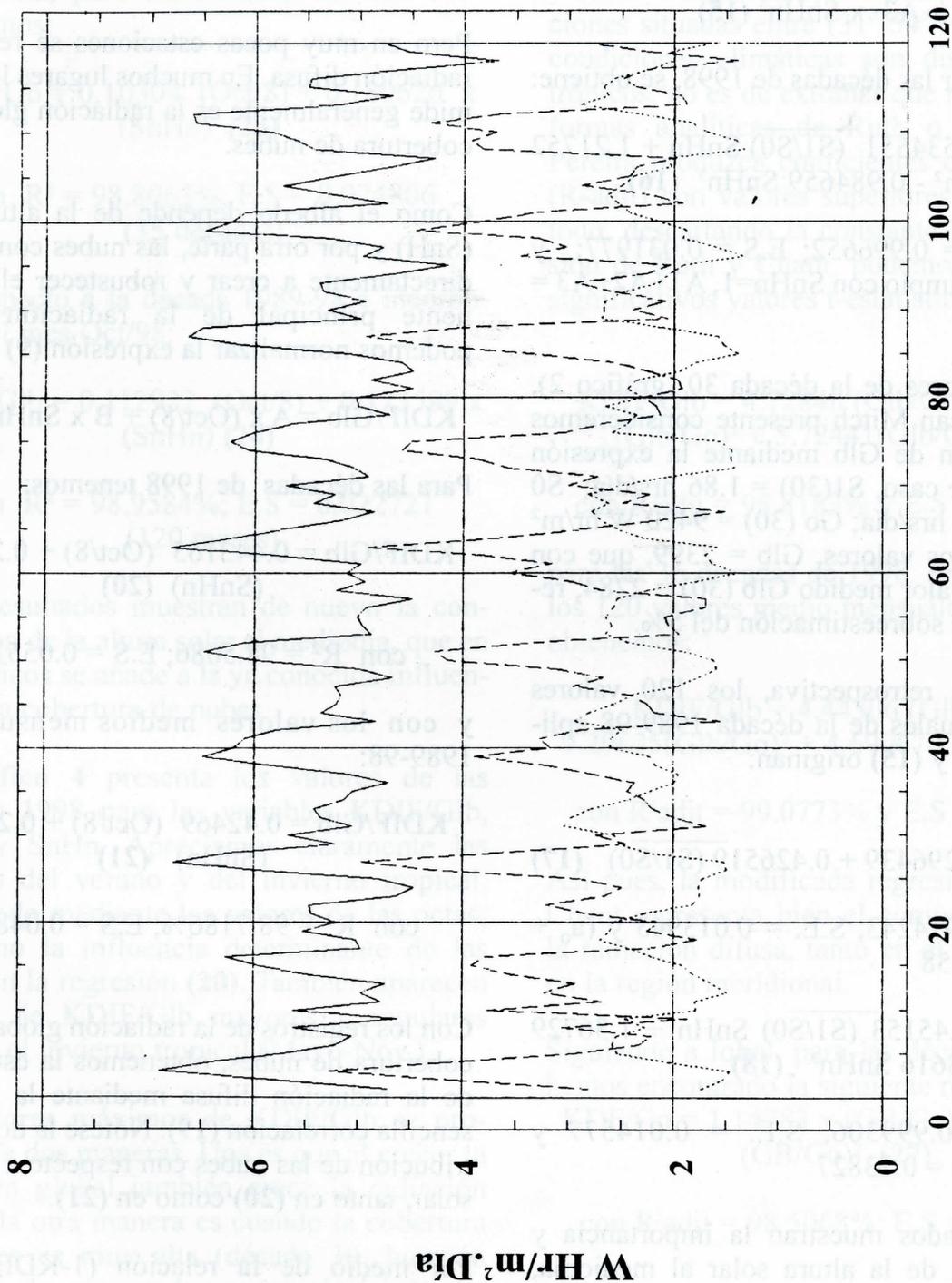
$$\overline{\text{Glb}} / \overline{\text{Go}} = 0.255281 + 0.492802 \times (\overline{\text{S1}}/\overline{\text{S0}}) \quad (14)$$

$$\text{con } R^2 = 0.907022; \text{ E.S.} = 0.030155 \text{ y } a_0 + b_0 = 0.748083$$



**Gráfico 3**  
**Radiación Global, NIP\*SnHn , Kdif**

(X 1000)



**Enr89 - Dic98**

**Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA**

En 1989 desarrollamos una nueva correlación cúbica (López, 1994) para el coeficiente  $K_t$ , que introduce la altura solar al mediodía ( $S_nH_n$ ); permitiendo obtener una mejor estimación local. A saber:

$$G_{lb}/G_o = A_1 \times (S_1/S_0) S_nH_n + A_2 \times S_nH_n^2 + A_3 \times S_nH_n^3 \quad (15)$$

Al considerar las décadas de 1998, se obtiene:

$$\overline{G_{lb}/G_o} = 0.534551 \overline{(S_1/S_0)} S_nH_n + 1.21752 S_nH_n^2 - 0.984659 S_nH_n^3 \quad (16)$$

con  $R^2_{adjt} = 0.996652$ ; E.S. = 0.031977; y para un día limpio con  $S_nH_n=1$ ,  $A_1+A_2+A_3 = 0.767412$

Para los valores de la década 30 (gráfico 2), con el huracán Mitch presente consideremos la estimación de  $G_{lb}$  mediante la expresión (16). En este caso,  $S_1(30) = 1.86$  hrs/día;  $S_0(30) = 11.65$  hrs/día;  $G_o(30) = 9420$  W hr/m<sup>2</sup> día. Con estos valores,  $G_{lb} = 2399$ , que con respecto al valor medido  $G_{lb}(30) = 2284$ , representa una sobreestimación del 5%.

Con mirada retrospectiva, los 120 valores medio mensuales de la década 1989-98 aplicados a (13) y (15) originan:

$$\overline{G_{lb}/G_o} = 0.296439 + 0.426519 \overline{(S_1/S_0)} \quad (17)$$

con  $R^2 = 0.974243$ , S.E. = 0.013943 y  $(a_o + b_o) = 0.722958$

$$\overline{G_{lb}/G_o} = 0.45153 \overline{(S_1/S_0)} S_nH_n + 1.36729 S_nH_n^2 - 1.08616 S_nH_n^3 \quad (18)$$

con  $R^2 = 0.999306$ , S.E. = 0.014577 y  $(A_1+A_2+A_3) = 0.73827$

Estos resultados muestran la importancia y contribución de la altura solar al mediodía, mejorando la estimación de  $K_t$ .

#### 4. Dos contribuyentes principales de la radiación difusa

Un valor cuantitativo de la radiación difusa es requerido en muchas aplicaciones prácticas de la agricultura, arquitectura, climatología y en la iluminación de interiores.

Pero en muy pocas estaciones se registra la radiación difusa. En muchos lugares lo que se mide generalmente es la radiación global y la cobertura de nubes.

Como el albedo depende de la altura solar ( $S_nH$ ) y por otra parte, las nubes contribuyen directamente a crear y robustecer el componente principal de la radiación difusa, podemos normalizar la expresión (9) en:

$$KDIF/G_{lb} = A \times (Oct/8) + B \times S_nH_n \quad (19)$$

Para las décadas de 1998 tenemos:

$$KDIF/G_{lb} = 0.443165 (Oct/8) + 0.217925 (S_nH_n) \quad (20)$$

con  $R^2 = 98.5086$ ; E.S = 0.055193

y con los valores medios mensuales de 1989-98:

$$KDIF/G_{lb} = 0.42469 (Oct/8) + 0.213375 (S_nH_n) \quad (21)$$

con  $R^2 = 98.7186\%$ ; E.S = 0.048003

Con los registros de la radiación global y de la cobertura de nubes, obtenemos la estimación de la radiación difusa mediante la nueva y sencilla correlación (19). Nótese la doble contribución de las nubes con respecto a la altura solar, tanto en (20) como en (21).

Por medio de la relación  $(1-KDIF/G_{lb} = BeamH/G_{lb})$  (22) se consigue estimar el componente horizontal del haz directo, si bien su

valor corresponderá a una segunda aproximación.

También podemos normalizar (9) con respecto a  $G_o$ , sin la década 30 (21-31/Oct-98 - huracán Mitch), que se comporta como un valor muestra no perteneciente al grupo. De esta forma, para las décadas del año 1998 obtenemos:

$$KDIF/G_o = 0.10304 (Oct/8) + 0.180626 \times (SnHn) \quad (23)$$

$$\text{con } R^2 = 98.8063\%; \text{ E.S} = 0.024806 \\ (35 \text{ décadas})$$

con respecto a la década 1989-98 e incorporando el mes Oct/98:

$$KDIF/G_{lb} = 0.112922 (Oct/8) + 0.173599 \times (SnHn) \quad (24)$$

$$\text{con } R^2 = 98.9584\%; \text{ E.S} = 0.022721 \\ (120 \text{ meses})$$

Estos resultados muestran de nuevo la contribución de la altura solar al mediodía, que en los trópicos se añade a la ya conocida influencia de la cobertura de nubes.

El **gráfico 4** presenta los valores de las décadas 1998 para las variables  $KDIF/G_{lb}$ , Oct/8 y SnHn. Apreciamos claramente las décadas del verano y del invierno tropical, sobre todo mediante los valores de las octas; así como la influencia determinante de las nubes en la regresión (20). También aparecen valores de  $KDIF/G_{lb}$  mayores y regulares durante el invierno tropical (Mayo-Nov.).

Los valores máximos de  $KDIF/G_{lb}$  se producen de dos maneras. Una es que al crecer la radiación global también crece la radiación difusa; la otra manera es cuando la cobertura de nubes es muy alta (década 30: huracán Mitch); lo que reduce grandemente la

radiación global que se convierte prácticamente en radiación difusa.

Iqbal (1983) cita dos correlaciones con una constante  $k$  de la forma analítica cúbica y cuadrática para  $KDIF/G_{lb} = f(k, k_t, k_t^2, k_t^3, k_t^4)$ , de Ruth y Chant la primera y de Collares-Pereira y Rabl la segunda; que corresponden a estaciones situadas entre ( $31^\circ$ - $54^\circ$  N). Como las condiciones climáticas son distintas en los trópicos, no es de extrañar que ninguna de las formas analíticas de Ruth o de Collares-Pereira produzca coeficientes de correlación ( $R^2_{adjt}$ ) con valores superiores al 85%. Con todo, descartando la constante  $k$  en la regresión de Ruth y Chant, podemos obtener con significativos valores t-estadísticos:

$$KDIF/G_{lb} = 4.72848 (G_{lb}/G_o) - 10.3525 \\ (G_{lb}/G_o)^2 + 5.72441(G_{lb}/G_o)^3 \quad (25)$$

$$\text{con } R^2_{adjt} = 98.8183\% \text{ y } E.S = 0.049127$$

para las 36 décadas de 1998. En cambio para los 120 valores medio mensuales de 1989-98 obtenemos:

$$KDIF/G_{lb} = 4.44306 (G_{lb}/G_o) - \\ 9.29635(G_{lb}/G_o)^2 + 4.69067(G_{lb}/G_o)^3 \quad (26)$$

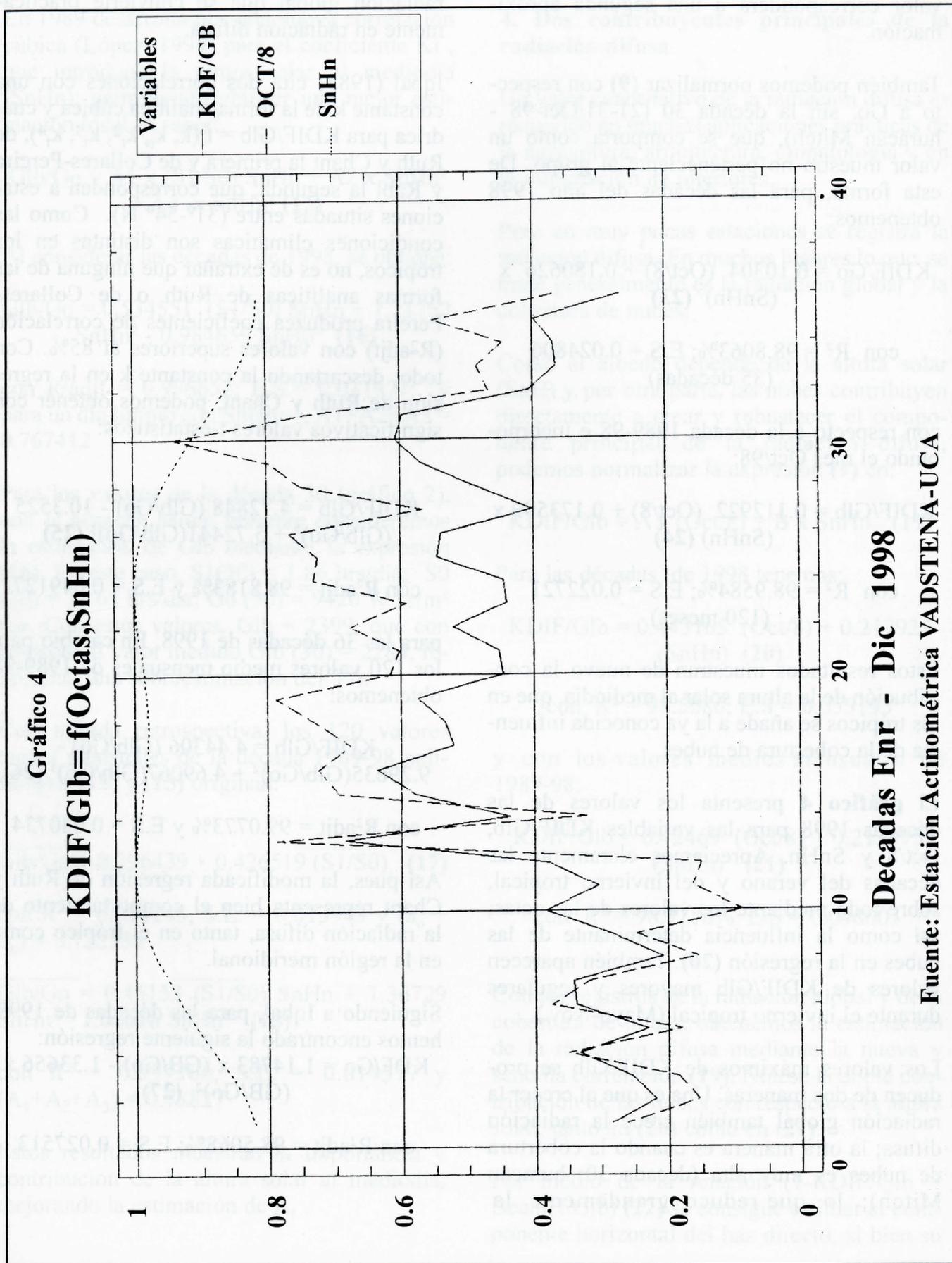
$$\text{con } R^2_{adjt} = 99.0773\% \text{ y } E.S = 0.040734$$

Así pues, la modificada regresión de Ruth y Chant representa bien el comportamiento de la radiación difusa, tanto en el trópico como en la región meridional.

Siguiendo a Iqbal, para las décadas de 1998, hemos encontrado la siguiente regresión:

$$KDF/G_o = 1.14783 \times (GB/G_o) - 1.33656 \times \\ (GB/G_o)^2 \quad (27)$$

$$\text{con } R^2_{adjt} = 98.5068\%; \text{ E.S} = 0.027513$$



que está representada en el **gráfico 5** donde distinguiremos tres regiones de cobertura de nubes en cuanto a su contribución a la radiación difusa. GB/GO es el coeficiente Kt.

### 5. Un día limpio

Por "día limpio" entendemos un día solar sin nubes y cuya radiación solar será casi una curva senosoidal a lo largo de las horas de radiación: Glbo.

En la práctica, sólo durante el verano tropical se suelen dar tales condiciones anticiclónicas. Con más frecuencia el brillo solar (S1) suele alcanzar un valor muy cercano a S0 hrs, para alturas solares mayores de 5° (salida y puesta del sol). Con todo, pueden presentarse unas pocas nubes, pero no en el recorrido celeste del sol.

La cantidad de irradiación media terrestre de un día con S0 horas de brillo solar, puede calcularse a partir de un modelo atmosférico que considere el vapor de agua, los aerosoles y la cobertura de nubes (López, 1989).

Sin embargo, es más conveniente emplear el coeficiente de claridad atmosférica Kt (Glb/Go) y calcularlo a partir de las correlaciones (13) y (15) para la situación de S1=S0.

Con la regresión de Ångström (14) y para 1998, tendremos:

$$\text{Día Limpio: Glbo} = 0.748083 \times \text{Go} \quad (28)$$

Con la nueva correlación (15) podemos apreciar mejor el valor de "un día limpio" según la estación anual, ya que contamos con la presencia del parámetro SnHn. Para las décadas de 1998 y suponiendo que estamos en la década del sol cenital (SnHn=1) obtendremos:

$$\text{Día limpio: Glbo} = 0.767412 \times \text{Go} \quad (29)$$

De este modo, el valor de la radiación global para un día limpio o sin nubes se vuelve más concordante con la realidad meteorológica y aparece la importancia de la altura solar; a pesar de que en la práctica se haya dado alguna baja cobertura de nubes.

### 6. La radiación solar: valores medios y totales - Máx. y Mín.

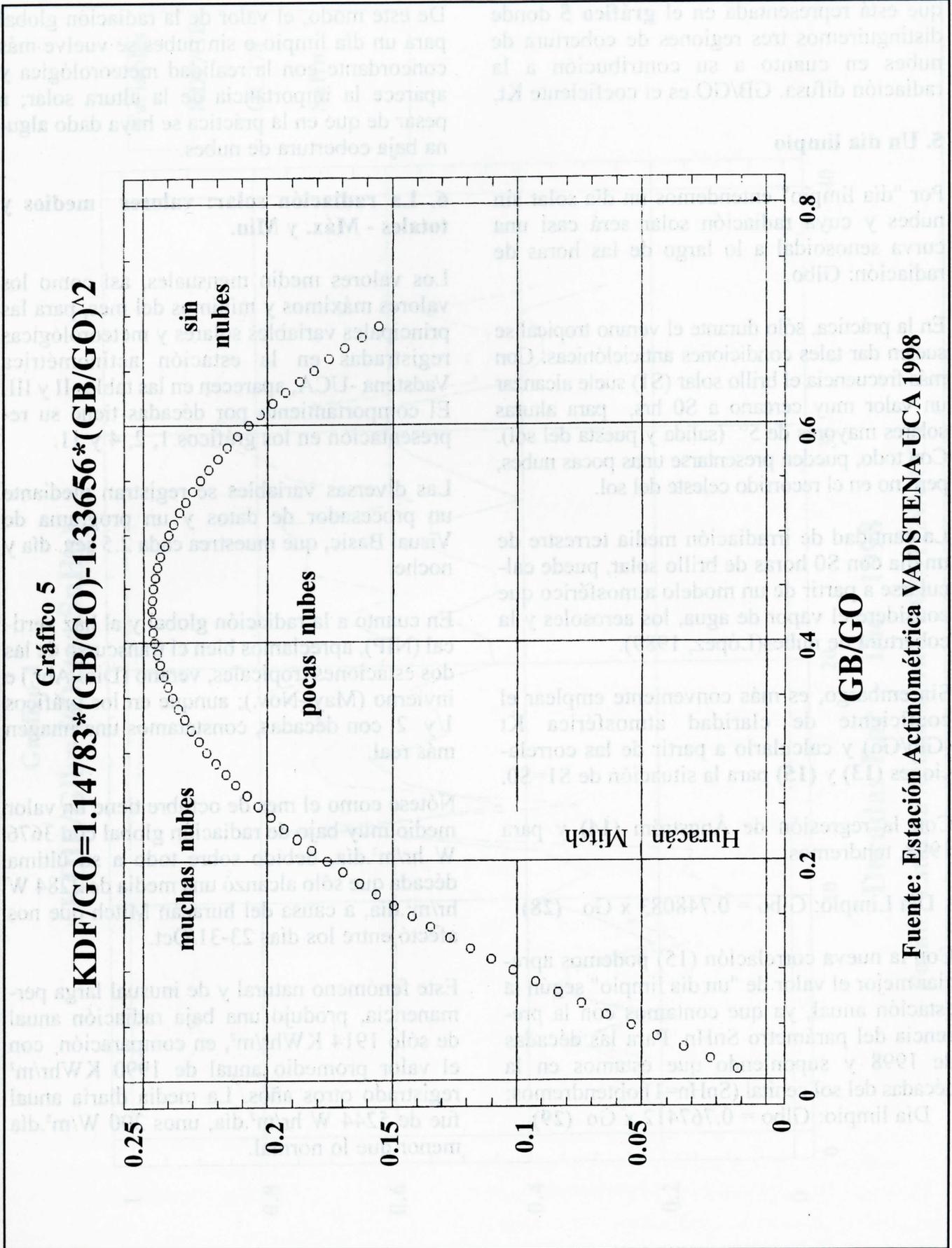
Los valores medio mensuales, así como los valores máximos y mínimos del mes, para las principales variables solares y meteorológicas registradas en la estación actinométrica Vadstena -UCA, aparecen en las tablas II y III. El comportamiento por décadas tiene su representación en los gráficos 1, 2, 4 y 11.

Las diversas variables se registran mediante un procesador de datos y un programa de Visual Basic, que muestrea cada 2.5 seg. día y noche.

En cuanto a la radiación global y al haz vertical (NIP), apreciamos bien el transcurso de las dos estaciones tropicales, verano (Dic.-Abr.) e invierno (May.-Nov.); aunque en los gráficos 1 y 2, con décadas, constatamos una imagen más real.

Nótese como el mes de octubre tiene un valor medio muy bajo de radiación global con 3676 W hr/m<sup>2</sup>.día, debido sobre todo a su última década que sólo alcanzó una media de 2284 W hr/m<sup>2</sup>.día, a causa del huracán Mitch que nos afectó entre los días 23-31/Oct.

Este fenómeno natural y de inusual larga permanencia, produjo una baja radiación anual de sólo 1914 KWhr/m<sup>2</sup>, en comparación con el valor promedio anual de 1990 KWhr/m<sup>2</sup> registrado otros años. La media diaria anual fue de 5244 W hr/m<sup>2</sup>.día, unos 200 W/m<sup>2</sup>.día menor que lo normal.



Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA 1998

TABLA II

Rad = Whr/m<sup>2</sup> día  
Brillo solar = hrs/día

1998	Radiación global			Radiación difusa			Radiación directa			Brillo solar SI		
	Med	Máx. Mín	día	Med	Máx. Mín	día	Med	Máx. Mín	día	Med	Máx. Mín	día
ENR	5593	6294 5289	30 12	1408	2176 711	31 30	6545	8580 3970	30 29	9.32	11.11 6.16	28 29
FBR	5732	6812 3036	20 27	1686	2646 755	28 13	5721	8721 1085	13 28	8.66	11.20 3.67	13 28
MAR	6581	7390 4475	16 3	1845	2443 1034	3 13	6237	7797 1943	12 13	9.38	11.27 4.19	25 3
ABR	6614	7541 5247	13 7	2348	3183 938	20 13	5093	8440 1827	13 7	9.38	11.54 4.47	13 7
MAY	5191	7192 546	14 24	2889	3300 468	10 24	2631	6302 1	15 24	6.24	10.48 0.00	14 24
JUN	4696	6709 2302	13 25	2628	3184 1237	10 25	2767	6374 320	14 30	5.04	10.0 0.64	14 30
JUL	5496	7055 3264	19 26	2678	3292 1684	5 7	3353	5947 415	19 5	5.92	10.15 0.94	29 5
AGT	5468	7265 3845	31 1	2573	2700 1503	28 31	3472	7140 958	31 28	5.92	10.58 1.99	10 29
SPT	4607	6516 1856	28 6	2249	2656 1253	24 20	3212	7486 70	28 14	5.35	10.25 0.14	22 14
OCT	3676	5748 77	4 30	2004	2659 74	13 30	2093	5009 0.0	22 29,30	3.49	7.72 0.0	19 27-31
NOV	4530	5910 3126	25 2	2031	2562 781	4 25	3669	7537 434	25 4	5.05	9.60 0.30	25 4
DIC	4778	5921 2825	22 25	1618	2482 638	3 27	4859	8441 907	28 25	7.16	10.66 1.72	28 14
Σ/365	5244		Whr/m <sup>2</sup> .día	2171		Whr/m <sup>2</sup> .día	4132		Whr/m <sup>2</sup> .día	6.77		hrs/ día
Total Anual	1913.876		KWhr/m <sup>2</sup>	792.306		KWhr/m <sup>2</sup>	1508.259		KWhr/m <sup>2</sup>	2471.90		hrs.

TABLA III

Brillo solar = hrs/día

Tempt = °C

Nubes = Octas

1998	Brillo solar S2			Temperatura			Cobertura de nubes			Altura solar SnHn
	Med	Máx. Min	día	Día Med	Máx. Min	Noche Med	Máx. Min	Med	Máx. Min.	
ENR	8.64	10.77 5.59	28 29	32.75	38.10 25.20	28.63	32.90 25.60	1.60	4.67 0.0	0.83924
FBR	8.01	10.79 1.93	13 28	32.78	38.10 25.50	29.04	36.30 25.40	2.37	7.00 0.0	0.903186
MAR	8.66	10.68 3.09	25 3	34.28	41.40 25.20	30.10	36.30 25.40	1.91	6.00 1.00	0.968148
ABR	8.48	11.10 3.67	13 7	35.31	42.00 26.40	31.10	36.20 26.80	1.07	6.67 0	0.998939
MAY	4.98	9.90 0.00	14 24	34.84	41.40 26.80	30.59	36.90 27.00	4.83	8.00 0	0.993211
JUN	4.13	8.73 0.27	14 30	33.49	40.10 27.40	29.67	33.70 27.00	5.68	7.67 3.33	0.981826
JUL	3.72	9.20 0.25	29 5	33.06	40.00 26.30	28.46	33.40 26.00	5.33	8.0 2.33	0.987661
AGT	4.90	9.77 1.46	10 29	33.29	39.40 25.90	28.86	34.30 26.40	5.34	7.67 2.33	0.999788
SPT	4.34	9.48 0.1	22 14	32.45	39.40 25.30	28.45	32.70 24.70	5.49	8.0 2.00	0.984411
OCT	2.84	6.51 0.0	19 27-31	31.23	31.23 26.00	27.85	31.20 25.90	6.66	8.0 4.33	0.927576
NOV	5.05	9.60 0.30	25 4	31.94	37.40 25.90	28.09	31.70 25.80	4.51	7.33 1.0	0.856087
DIC	6.28	10.18 0.95	28 13	32.63	38.70 26.00	28.21	32.30 26.50	3.61	6.33 0.67	0.816944
Σ/365	5.82 hrs/día			33.17 °C hr/día		29.09 °C hr/noche		4.05 Oct/día		
Total Anual	2124.90 hrs			Día 5 am.-7pm.		Noche 7 pm.- 5 am.				

Durante la década 30 (21-31/Oct.), la radiación difusa fue de 1386 W hr/m<sup>2</sup>.día, un 61% de su correspondiente radiación global (**ver gráfico 4**). Esta década fue prácticamente un período de radiación difusa. Así, el día 30/Oct. sólo se registró 77 Whr/m<sup>2</sup>.día de radiación global, con 74 Whr/m<sup>2</sup>.día en la radiación difusa (96%). Si bien, los días con máxima radiación global suelen coincidir con los mínimos de radiación difusa.

Otro acontecimiento inusual, se dio en la segunda década de Mayo. El **día 14** de este mes, la radiación global alcanzó el valor de 7192 Whr/m<sup>2</sup>.día, debido a las erupciones solares que acontecieron unos tres días antes en el sol. Mientras el **día 10**, la radiación difusa subió a 3300 W hr/m<sup>2</sup> día, un 59% de su correspondiente radiación global (5575 Whr/m<sup>2</sup>.día) y con cobertura de 6 octas.

Febrero suele ser el mes más claro y limpio del año, conveniente para realizar las calibraciones de las sondas solares. Así notaremos en la **tabla II**, (pág. 17) 13-Feb, que el haz directo vertical o NIP alcanzó 8721 Whr/m<sup>2</sup>.día, correspondiente a 6596 Whr/m<sup>2</sup>.día de la radiación global y 755 Whr/m<sup>2</sup>.día de la radiación difusa (11% de radiación global).

El brillo solar presenta una correlación negativa con respecto a la cobertura de nubes y una correlación positiva con el NIP (**gráfico 1 y 2**). Del 27 al 31 de Oct./98, S1 se mantuvo con valor cero y la cobertura de nubes fue superior a las 7.5 octas, bajo la acción del huracán Mitch.

Por el contrario, durante las erupciones solares 11-15 Mayo/98, S1 se mantuvo superior a 10.2 hrs/día y con una cobertura de nubes inferior a las 3.0 octas.

El año 1998 alcanzó 2472 hrs. para S1 y 2125 para el nivel S2; lo cual muestra cómo Managua es un lugar geográfico muy soleado, con un valor medio anual para S1 de 6.77

hrs/día. El máximo alcanzado, equivalente a 11.54 hrs/día, se dio el 13-Abr, 94% de su correspondiente S0 con 12.27 hrs/día.

En la **tabla III**, están los valores de la temperatura ambiental, mostrando su alza con respecto a otros años. Durante el día (5 am.-7 pm.), la temperatura presenta un máximo valor medio mensual de 35.31 °C y de 31.10 °C durante la noche. La temperatura diurna máxima registrada fue de 42.00 °C, el 9-Abr/98, a las 4 pm. Por la noche, el máximo registrado se dio el 12-May., a las 8 pm., con un valor de 36.90 °C. Todo lo cual revela como sufrió Managua el efecto invernadero. (López, 1998).

Los valores mínimos de la temperatura, día y noche, los encontramos en la tercera década de Octubre, con la presencia del huracán Mitch, el cual trajo un descenso sensible del calor. La temperatura media diurna fue de 29.68 °C, mientras la media nocturna quedó en 27.88 °C. Así pues, se estableció una temperatura muy regular durante una semana, con tan sólo 1.80°C de diferencia media entre el día y la noche. Este hecho y sus correspondientes valores de temperatura aparecen como puntos "fuera de serie" en las diversas correlaciones donde son considerados.

El invierno tropical (May.-Nov.) presenta su abundante cobertura de nubes, con más de la mitad del hemisferio celeste cubierto de nubes: > 4 octas, por lo general. El valor medio anual de la cobertura de nubes, resultó ser de 4.05 octas, es decir, el 50%, como característico de las zonas tropicales. (**ver gráfico 1**).

## 7. Las frecuencias de la radiación solar

Para Managua, se han considerado 14 horas diarias de medición, (5 am. - 7 pm.), lo que arroja un total anual de 5110 hrs. de radiación solar.

El estudio de las frecuencias acumulativas permite obtener una estimación del mínimo de horas disponibles con al menos un cierto nivel energético. Así pues, se dispone de una cantidad media asegurada de radiación solar por mes o anual, permitiendo el diseño conservador de un sistema energético.

Por otra parte, en el verano tropical se dan 11.70 hrs. medias de sol y 12.23 hrs. durante el invierno.

### a) Radiación global

Con excepción de las 1194 hrs de nivel (0-49) Whr/m<sup>2</sup>, que corresponden sobre todo a la salida y puesta del sol, en la **tabla IV** (pág. 21) observamos una casi constante frecuencia de 400 hrs para el rango de niveles entre 100 W/m<sup>2</sup> y < 800 W/m<sup>2</sup>; y una presencia anual del 8% para cada uno de estos niveles. Un 53% del tiempo, la radiación global es superior a 300 W hr/m<sup>2</sup>.

Anualmente, 40 hrs superan el nivel de 1 K Whr/m<sup>2</sup>, con 16 y 14 veces respectivamente en Marzo y Abril; las restantes 10 horas se dan entre Mayo y Septiembre.

La **tabla V** (pág. 22) contiene la distribución diaria de las frecuencias acumulativas para la radiación global, verano e invierno.

En verano se dan 4.9708 hrs/día con nivel de al menos 500 W hr/m<sup>2</sup>, mientras durante el invierno sólo acontecen 3.9378 hrs/día para  $\geq 500$  W hr/m<sup>2</sup>. Su representación aparece expresada en el **gráfico 6**.

### b) Radiación difusa

En la **Tabla VI** (pág. 23) salta a la vista la distribución lineal y decreciente de las frecuencias de la radiación difusa, según crece el nivel energético considerado. Para un mismo nivel, hay mayor frecuencia durante el invierno tropical que durante el verano; lo cual

habla de la abundante presencia de nubes entre Mayo y Diciembre.

Dejando de lado el nivel <50 Whr/m<sup>2</sup>, podemos expresar la frecuencia de la radiación difusa (FRD;hrs/día) en función del nivel energético (LDF:W/m<sup>2</sup>):

$$FDR = 927.783 - 2.02667 \times LDF \quad (30),$$

con CC = -0.988601

que cubre el rango (100-450) W/m<sup>2</sup>

Nótese en la **tabla VI** que durante el invierno (May-Nov) aparecen 15hrs con un nivel  $\geq 450$  W/m<sup>2</sup>, mientras en el verano sólo 7 hrs. superan el nivel  $\geq 400$  W/m<sup>2</sup>.

En la **tabla VII** leemos que en verano se dan 2.4433 hrs/día de radiación difusa con un nivel de al menos nivel de 200 W/m<sup>2</sup>, mientras durante el invierno acontecen para ese nivel 4.3180 hrs/día, casi el doble. Su representación gráfica corresponde al **gráfico 7**.

### c) Radiación directa NIP

En la **tabla VIII** (pág.26) notamos que no ha habido una sola hora con nivel de 1 KWhr/m<sup>2</sup> y que el nivel de 900 W/m<sup>2</sup> es alcanzado con una tercera parte de frecuencia en comparación de la que se obtuvo para la radiación global. Con todo, para el rango de niveles  $\geq 300$  W/m<sup>2</sup> hasta  $\geq 700$  W/m<sup>2</sup> se mantiene una frecuencia alrededor de 350 hrs.

Durante 2033 hrs, el 40% del tiempo anual, el NIP se mantuvo por debajo de los 100 W/m<sup>2</sup>; situación que corresponde sobre todo a la primera y última hora solar del día.

En la **tabla IX** observamos que en verano se dan 6.0437 hrs/día con un nivel de al menos  $\leq 400$  W/m<sup>2</sup>, mientras en invierno sólo acontecen 2.9187 hrs/día, el 50% (**ver gráfico 8**).

**TABLA IV**  
**Distribución de frecuencias – Radiación global – 1998 – Vadstena-UCA**

Frecuencias Acumulativas		1998	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT	NOV	DIC	Σ hrs	%	
Verano:	Invierno:	Whr/m <sup>2</sup>															
Dic-Abr	May-Nov	0-49	114	89	85	70	86	90	79	92	89	156	118	126	1194	23.37	
2116	2994	50-99	12	28	28	30	47	33	25	27	49	33	12	7	331	6.48	
1632	2284	≥100	31	23	23	31	37	50	50	46	36	44	31	31	433	8.47	
1527	2058	≥200	35	30	33	33	39	43	28	28	48	38	47	46	448	8.77	
1388	1764	≥300	14	26	31	23	35	39	44	32	42	30	40	38	394	7.71	
1209	1495	≥400	49	32	23	24	29	37	37	35	33	38	60	50	447	8.75	
1077	1233	≥500	25	28	33	32	46	38	42	39	35	29	33	29	409	8.00	
899	964	≥600	54	31	24	31	29	31	36	42	25	25	31	41	400	7.83	
752	702	≥700	46	36	42	42	40	33	51	46	33	18	28	43	458	8.96	
571	483	≥800	51	42	49	43	26	14	27	25	15	13	19	21	345	6.75	
362	234	≥900	3	27	47	47	17	11	15	17	15	9	1	2	211	4.13	
156	95	≥1000	0	0	16	14	3	1	0	5	0	1	0	0	40	0.78	
30	10	Σ hrs	434	392	434	420	434	420	434	434	420	434	420	434	5110	100%	

**TABLA V**  
Radiación global. Distribución de las frecuencias acumulativas

$\frac{W}{m^2}$ día	$\geq 1000$	$\geq 900$	$\geq 800$	$\geq 700$	$\geq 600$	$\geq 500$	$\geq 400$	$\geq 300$	$\geq 200$	$\geq 100$	$\geq 50$	$< 50$
Ver:hrs/ día	0.1658	0.8626	2.0016	3.1572	4.1580	4.9708	5.9551	6.6849	7.7647	8.4432	9.0238	11.7hrs
Inv:hrs/ nch	0.0408	0.3881	0.9559	1.9730	2.8676	3.9378	5.0366	6.1069	7.2057	8.4066	9.3298	12.23hrs

**TABLA VII**  
Radiación difusa. Distribución de las frecuencias acumulativas

$\frac{W}{m^2}$ día	$\geq 550$	$\geq 500$	$\geq 450$	$\geq 400$	$\geq 350$	$\geq 300$	$\geq 250$	$\geq 200$	$\geq 150$	$\geq 100$	$\geq 50$	$< 50$
Ver:hrs/ día	0	0	0	0.0358	0.1993	1.0376	1.6000	2.4433	3.7722	5.9088	8.2089	11.70hrs
Inv:hrs/ nch	0	0.0043	0.0694	0.3078	0.8801	1.3916	2.9047	4.3180	5.8484	7.3788	9.0522	12.23hrs

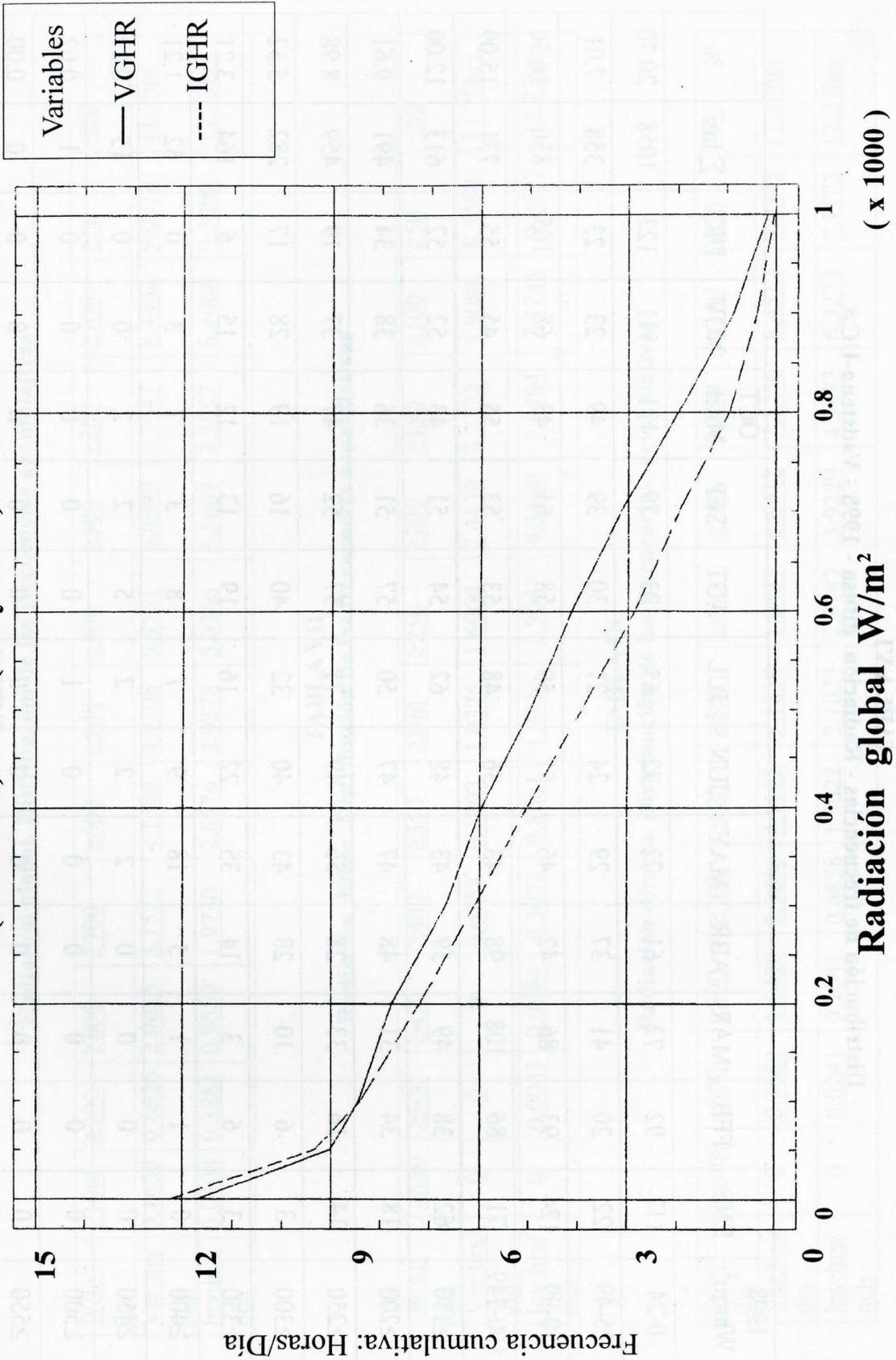
**TABLA IX**  
Radiación directa. Distribución de las frecuencias acumulativas

$\frac{W}{m^2}$ día	$\geq 1000$	$\geq 900$	$\geq 800$	$\geq 700$	$\geq 600$	$\geq 500$	$\geq 400$	$\geq 300$	$\geq 200$	$\geq 100$	$\geq 50$	$< 50$
Ver:hrs/ día	0	0.3653	1.6438	2.9056	4.1122	5.1859	6.0437	6.6912	7.5270	8.4512	9.0545	11.70hrs
Inv:hrs/ nch	0	0.0241	0.2041	0.6858	1.3022	2.1023	2.9187	3.9229	4.9883	6.3273	7.1723	12.23hrs

**TABLA VI**  
**Distribución de frecuencias - Radiación difusa - 1998 - Vadstena-UCA**

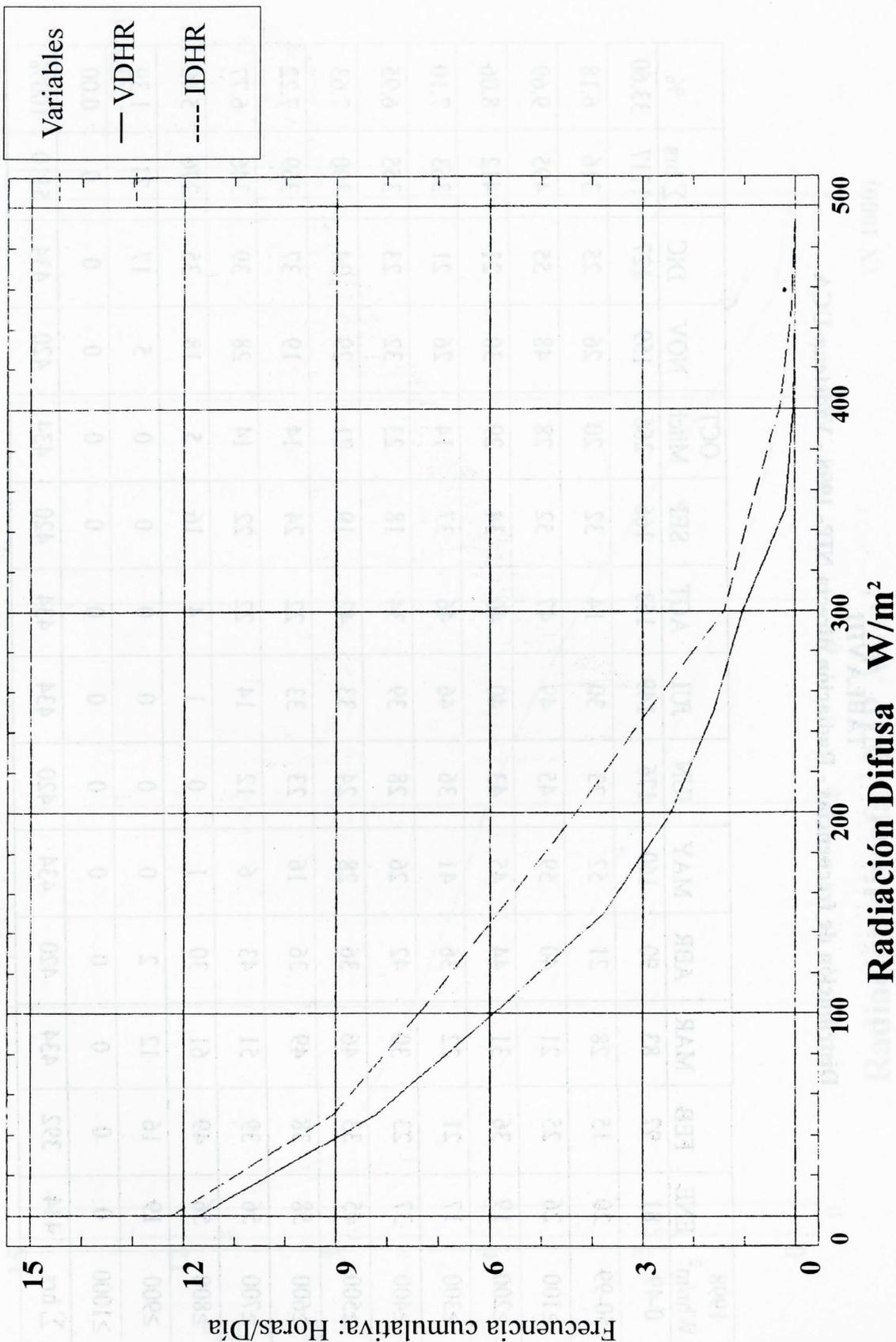
1998 Whr/m <sup>2</sup>	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT Mitch	NOV	DIC	Σ hrs	%
0-24	117	92	72	61	72	72	65	73	79	121	111	123	1058	20.70
25-49	22	20	41	37	29	24	21	30	39	49	23	23	358	7.01
50-99	124	93	86	42	46	51	59	58	61	43	68	105	836	16.36
100-149	71	86	108	98	43	56	48	53	53	55	45	55	771	15.09
≥150	62	38	49	59	43	48	62	54	51	43	52	52	613	12.00
≥200	18	34	31	48	47	47	50	57	51	36	38	34	491	9.61
≥250	14	16	33	28	56	49	71	37	52	47	37	19	459	8.98
≥300	3	6	10	28	43	40	32	40	16	19	28	17	282	5.52
≥350	3	6	3	14	35	22	16	19	13	12	15	6	164	3.21
≥400	0	1	1	5	18	9	7	8	3	7	3	0	62	1.21
≥450	0	0	0	0	2	2	2	5	2	2	0	0	15	0.29
≥500	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.02
≥550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Σ hrs	434	392	434	420	434	420	434	434	420	434	420	434	5110	100%

**Gráfico 6**  
**Ver:(Dic-Abr) Inv:(May-Nov)**



Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

Gráfico 7  
 Ver:(Dic-Abr) Inv:(May-Nov)



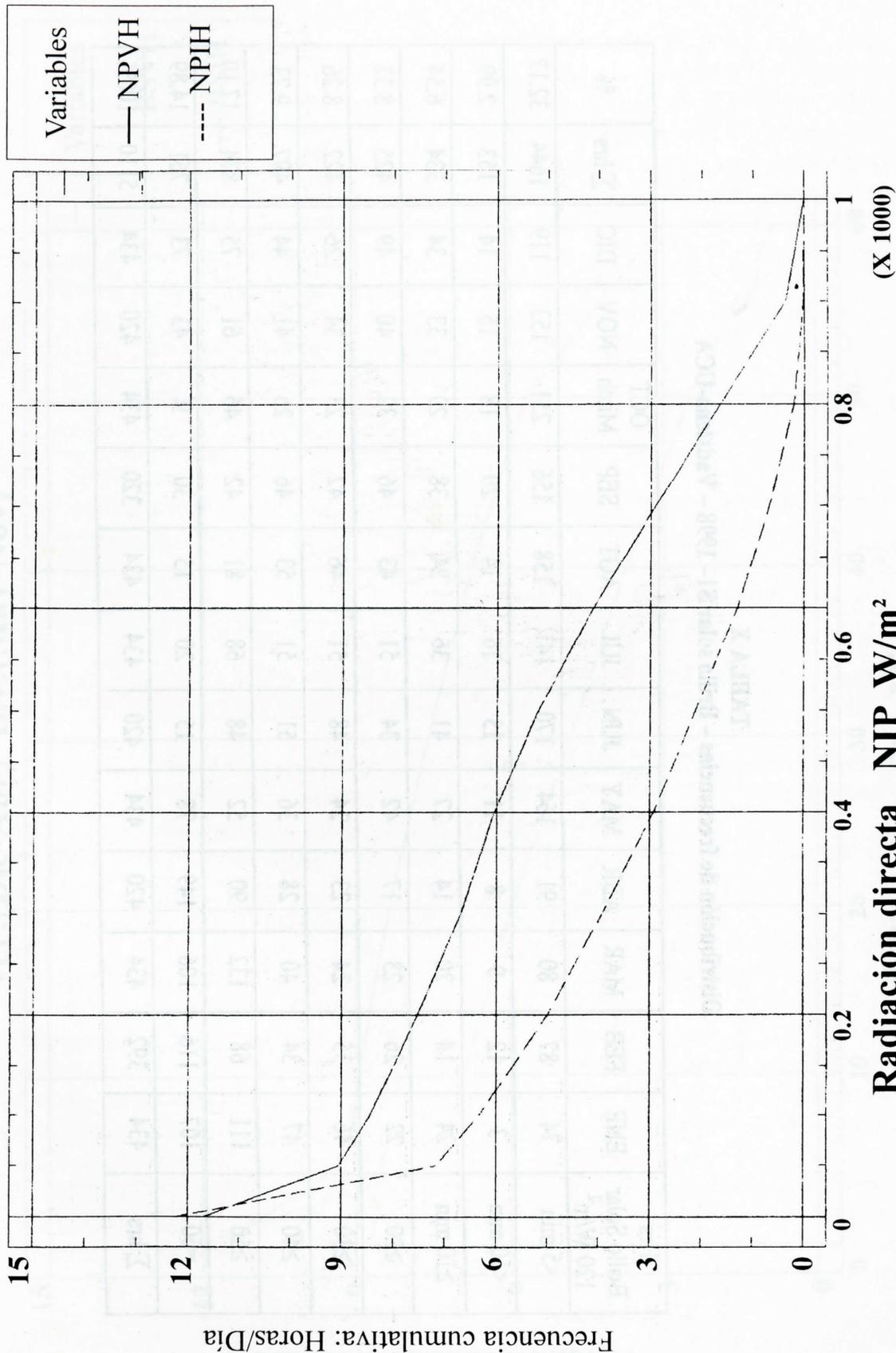
Radiación Difusa W/m²

Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA 1998

**TABLA VIII**  
**Distribución de frecuencias - Radiación directa NIP- 1998 - Vadstena-UCA**

1998 W/hr/m <sup>2</sup>	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT Mitch	NOV	DIC	Σ hrs	%
0-49	81	97	83	90	160	176	149	163	166	266	159	127	1717	33.60
50-99	20	15	28	21	52	33	30	14	32	20	26	25	316	6.18
≥100	26	25	21	40	59	45	49	47	52	28	48	55	495	9.69
≥200	19	36	31	44	45	43	40	40	34	29	30	21	412	8.06
≥300	17	21	22	36	41	36	46	46	37	14	26	21	363	7.10
≥400	37	23	30	42	26	28	39	34	18	23	32	23	355	6.95
≥500	45	33	46	36	28	24	33	42	19	21	29	34	390	7.63
≥600	58	38	49	36	16	23	33	22	24	14	19	37	369	7.22
≥700	56	39	51	43	6	12	14	22	22	14	28	39	346	6.77
≥800	56	49	61	30	1	0	1	4	16	5	18	35	276	5.40
≥900	19	16	12	2	0	0	0	0	0	0	5	17	71	1.39
≥1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Σ hrs	434	392	434	420	434	420	434	434	420	434	420	434	5110	100%

**Gráfico 8**  
**Ver:(Dic-Abr) Inv:(May-Nov)**

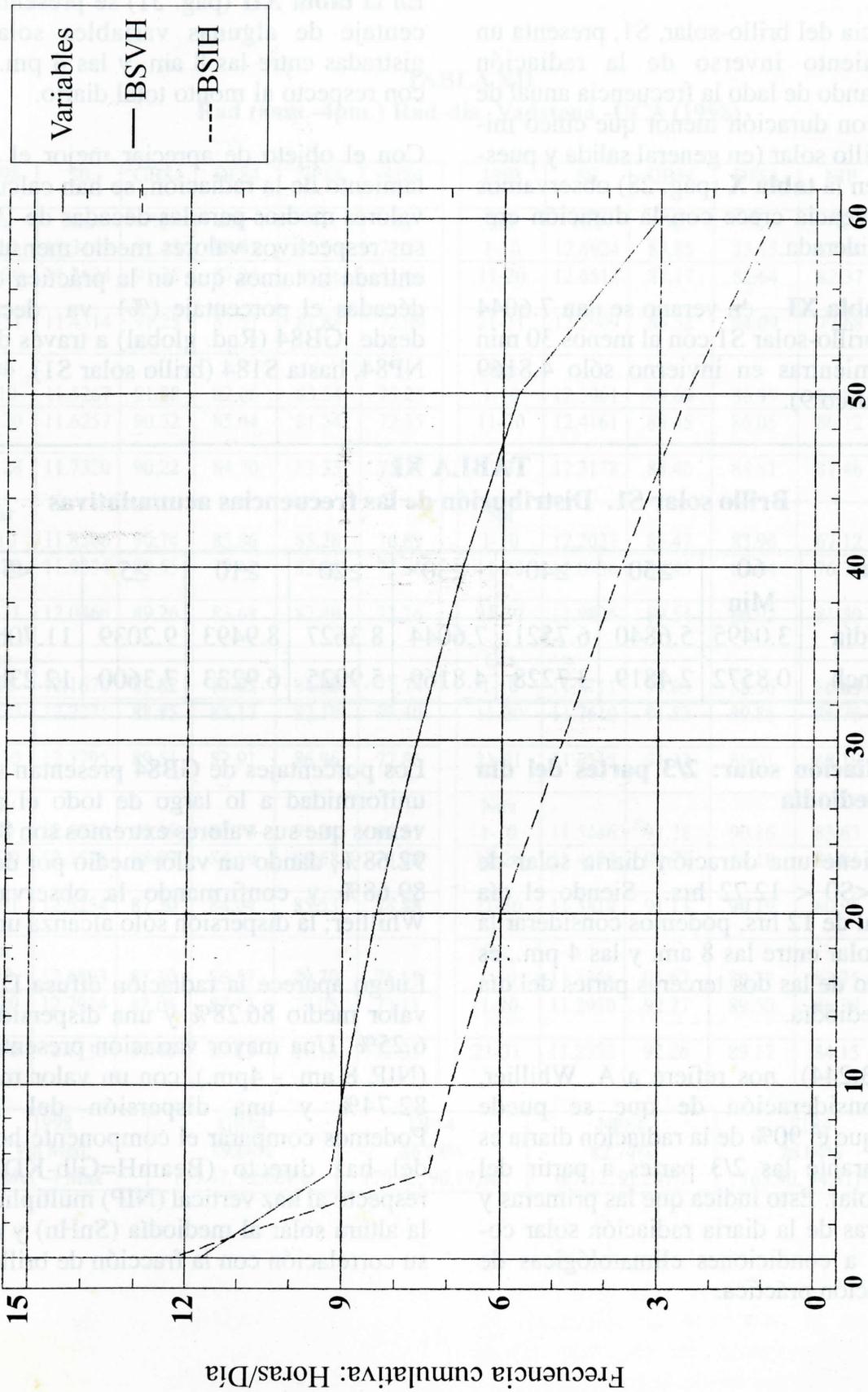


Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

**TABLA X**  
**Distribución de frecuencias – Brillo solar S1 – 1998 – Vadstena-UCA**

Hrs Brillo Solar 120 W/m <sup>2</sup>	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT	NOV	DIC	Σ hrs	%
<5 min	74	87	80	91	164	170	141	158	156	251	153	119	1644	32.17
<10 min	3	12	9	8	11	13	16	14	20	18	15	14	153	2.99
≥10 min	24	14	20	14	27	41	36	24	38	29	33	34	334	6.54
≥20	22	26	23	17	42	34	51	43	46	32	40	49	425	8.32
≥30	46	35	24	23	24	48	51	46	42	23	34	26	422	8.26
≥40	47	34	40	28	36	51	51	53	46	26	41	44	497	9.73
≥50	111	68	132	90	52	48	68	81	42	46	61	75	874	17.10
=60	107	116	106	149	78	15	20	15	30	9	43	73	761	14.89
Σ hrs	434	392	434	420	434	420	434	434	320	434	420	434	5110	100%

**Gráfico 9**  
**Ver:(Dic-Abr) Inv:(May-Nov)**



**Brillo solar S1 : Min**  
**Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA**

**d) Brillo solar**

La frecuencia del brillo-solar, S1, presenta un comportamiento inverso de la radiación difusa. Dejando de lado la frecuencia anual de 1644 hrs, con duración menor que cinco minutos de brillo solar (en general salida y puesta de sol), en la **tabla X** (pág. 28) observamos que la frecuencia crece con la duración creciente considerada.

Según la **tabla XI**, en verano se dan 7.6044 hrs/día de brillo-solar S1 con al menos 30 min duración, mientras en invierno sólo 4.8169 hrs/día (gráfico 9).

En la **tabla XII** (pág. 31) se presenta el porcentaje de algunas variables solares, registradas entre las 8 am. y las 4 pm. solares, con respecto al monto total diario.

Con el objeto de apreciar mejor el comportamiento de la radiación, se han calculado los valores medios para las décadas de 1998 y no sus respectivos valores medio mensuales. De entrada notamos que en la práctica todas las décadas el porcentaje (%) va decreciendo desde GB84 (Rad. global) a través de DF84, NP84, hasta S184 (brillo solar S1).

**TABLA XI**  
**Brillo solar S1. Distribución de las frecuencias acumulativas**

Duración Min	60 Min	≥50	≥40	≥30	≥20	≥10	≥5	<5
Ver:hrs/día	3.0495	5.6840	6.7521	7.6044	8.3627	8.9493	9.2039	11.70hrs
Inv:hrs/nch	0.8572	2.4819	3.7228	4.8169	5.9925	6.9233	7.3600	12.23hrs

**8. La Radiación solar: 2/3 partes del día desde el mediodía**

Managua tiene una duración diaria solar de 11.30 hrs <S0 < 12.72 hrs. Siendo el día medio anual de 12 hrs, podemos considerar la radiación solar entre las 8 am. y las 4 pm., es decir, dentro de las dos terceras partes del día desde el mediodía.

Iqbal (1983:244) nos refiere a A. Whillier, con la consideración de que se puede demostrar que el 90% de la radiación diaria es recibida durante las 2/3 partes a partir del mediodía solar. Esto indica que las primeras y últimas horas de la diaria radiación solar corresponden a condiciones climatológicas de poca aplicación práctica.

Los porcentajes de GB84 presentan una gran uniformidad a lo largo de todo el año. Así vemos que sus valores extremos son 85.47% y 92.68%, dando un valor medio por década de 89.68% y confirmando la observación de Whillier; la dispersión sólo alcanza un 3.78%.

Luego aparece la radiación difusa DF84 con valor medio 86.28% y una dispersión de un 6.25%. Una mayor variación presenta NP84 (NIP, 8 am. - 4pm.), con un valor medio del 82.74% y una dispersión del 14.58%. Podemos comparar el componente horizontal del haz directo (BeamH=Glb-KDIF) con respecto al haz vertical (NIP) multiplicado por la altura solar al mediodía (SnHn) y expresar su correlación con la fracción de brillo solar.

**TABLA XII**  
**Rad (8am.-4pm.) Rad-día. Vadstena -UCA (1998)**

1998	S0	GB84	DF84	NP84	S184	1998	S0	GB84	DF84	NIP	S184
Enr	Hrs	%	%	%	%	Jul	Hrs	%	%	%	%
1-10	11.3140	91.43	88.65	81.50	72.53	1-10	12.6924	88.85	85.35	87.60	81.51
11-20	11.3624	91.28	87.24	81.36	71.66	11-20	12.6512	87.17	82.64	82.37	75.28
21-31	11.4314	91.25	87.57	81.88	72.09	21-31	12.5909	86.52	84.09	77.68	70.03
Feb						Agt					
1-10	11.5267	91.38	87.06	83.54	75.25	1-10	12.5061	89.69	86.99	84.85	80.77
11-20	11.6257	90.32	85.04	81.54	72.55	11-20	12.4161	88.45	86.05	80.12	74.65
21-28	11.7320	90.22	84.70	83.33	75.17	21-31	12.3178	88.40	84.81	81.46	74.42
Mar						Spt					
1-10	11.8206	90.74	85.86	85.28	76.89	1-10	12.2023	85.47	83.90	67.12	63.90
11-20	11.9334	89.55	79.42	82.10	72.36	11-20	12.0936	88.45	87.64	76.70	70.60
21-31	12.0466	89.26	83.68	82.49	72.26	21-30	11.9826	89.54	86.92	81.30	74.64
Abr						Oct					
1-10	12.1670	89.82	85.02	84.88	77.74	1-10	11.8711	91.03	88.56	86.85	80.70
11-20	12.2771	88.85	83.17	82.19	73.40	11-20	11.7610	91.83	89.85	86.76	83.05
21-30	12.3795	89.51	82.91	86.96	77.86	21-31	11.6545	91.22	89.01	88.19	80.62
May						Nov					
1-10	12.4736	90.19	87.76	91.24	94.81	1-10	11.5446	91.28	90.16	83.63	79.15
11-20	12.5571	88.97	84.19	85.58	78.48	11-20	11.4557	90.72	88.18	81.81	75.85
21-31	12.6254	87.30	84.04	85.53	78.88	21-30	11.3814	91.13	90.19	80.95	74.77
Jun						Dic					
1-10	12.6803	87.10	86.57	79.70	75.55	1-10	11.3268	91.62	89.28	83.35	77.18
11-20	12.7074	88.04	87.12	77.05	73.11	11-20-	11.2950	92.27	89.50	86.78	80.00
21-30	12.7118	87.46	83.63	81.13	72.31	21-31	11.2892	92.26	89.17	84.15	77.46

1998	GB84	DF84	NP84	S184
Val Med:	89.68%	86.28%	82.74%	76.04%
Min → Max	(85.47, 92.68)%	(79.42, 90.19)%	(67.12, 91.24)%	(63.90, 94.81)%

$$\text{Sea } KSH = [\overline{\text{Glb-KDIF}}] / [\overline{\text{NIP} \times \text{SnHn}}] = \overline{\text{BeamH}} / [\overline{\text{NIP} \times \text{SnHn}}] \quad (31)$$

Para las 36 décadas de 1998 obtenemos:

$$\overline{KSH} = 4.88654 \times \overline{(S1/S0)} - 9.02062 \times \overline{(S1/S0)^2} + 5.12332 \times \overline{(S1/S0)^3} \quad (32)$$

Con  $R^2$  adjt: 99.7256%

En un día limpio ( $S1 = S0$ ),  $KSH = 0.98924$  respecto al teórico valor de la unidad.

Por otra parte, para 120 valores diarios medio-mensuales de 1989-98,  $\overline{KSH} = 0.77934$ , mientras para las 36 décadas el valor medio de  $KSH = 0.797737$ , es decir 0.80; mientras  $NP84 = 82.74\%$  (tabla XII). Podemos tomar como relación experimental en Managua:

$$\overline{\text{BeamH}} = 0.80 \times \overline{\text{NIP}} \times \overline{\text{SnHn}} \cong NP84 \times \overline{\text{SnHn}} \quad (33)$$

o de otra manera:

$$(\overline{\text{Glb}} - \overline{\text{KDIF}}) / \overline{\text{SnHn}} \cong NP84 \quad (34)$$

donde de nuevo aparece la importancia y contribución del parámetro "altura solar al mediodía".

Finalmente, a pesar de la buena correlación (32) que se da entre los valores medios del NIP y del brillo solar S1 diario, al normalizarse con S0 respecto a todo el día, obtenemos:

$$\overline{\text{NIP}} / [\overline{\text{Io} \times \text{S0}}] = \overline{[\text{NIP}/\text{S0}]} / 1370 = 0.452949 \overline{(S1/S0)} \quad (35)$$

Con  $R^2$  adjt: 98.2290%

Con todo, S184 presenta la mayor dispersión con 20.332%; es decir que hay menos variación en la cobertura de nubes en las primeras y últimas horas del día solar, que en las 2/3 partes del día desde el mediodía.

En la expresión (35)  $\overline{[\text{NIP}/\text{S0}]}$  / Io, representa el coeficiente medio de transmisión atmosférica de la radiación directa, t BeamH; donde Io es la constante solar.

## 9. La radiación fotosintética

La radiación fotosintética corresponde al rango de la radiación solar visible y se registra dentro de las longitudes de onda (0.40 - 0.77)  $\mu\text{m}$ ; donde se da la actividad fotosintética en el mundo vegetal. Por eso sus siglas PAR (Fotosintética Activa Región). Las unidades son " $\mu\text{e}/\text{sm}^2$  (micro-einstein por segundo por metro cuadrado) y es equivalente a unos 4.60  $\text{W}/\text{m}^2$  (Licor, 1980).

En sus tablas de datos, esta variable PAR está expresada en  $\text{W}/\text{m}^2$ , para poder correlacionarla con otras variables solares y meteorológicas.

La radiación PAR se da tanto en el haz directo o NIP como en el componente de radiación difusa, lo cual nos permite escribir la siguiente correlación con respecto a las 36 décadas de 1998:

$$\overline{\text{Glb}} = 2.34079 \times \overline{\text{PAR}} \quad (36)$$

con  $R^2 = 0.998708$

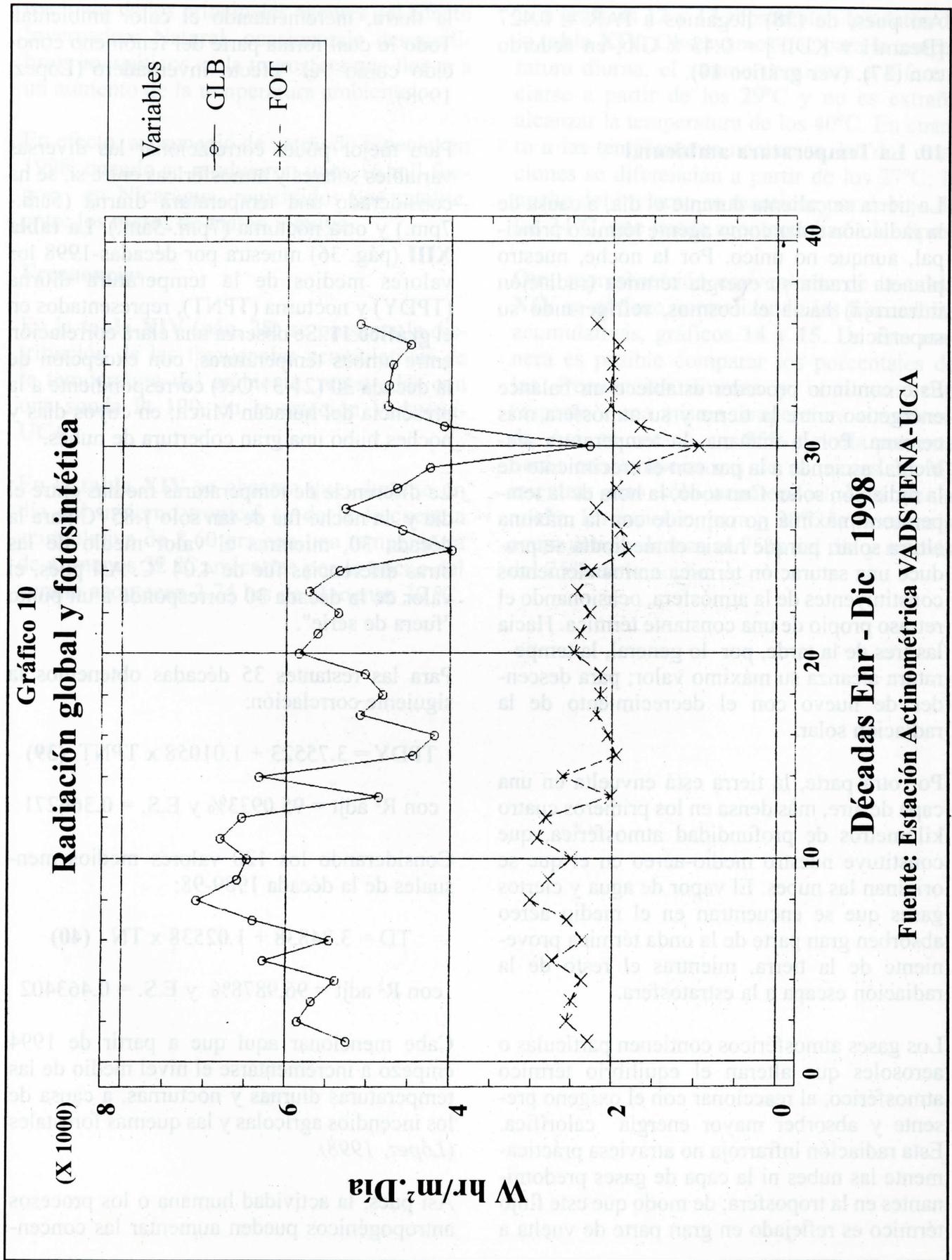
o inversamente tenemos  $\overline{\text{PAR}} = 0.426654 \times \overline{\text{Glb}} = 0.43 \times \overline{\text{Glb}} \quad (37)$

Dentro del espectro solar, el rango de " $\lambda$ " (0.40 - 0.77)  $\mu\text{m}$  cubre un 45.65% del área total; en acuerdo con los errores instrumentales y de medición.

Según lo expresado más arriba y para las décadas del 98, obtenemos la correlación:

$$\overline{\text{PAR}} = 0.426392 \times \overline{\text{BeamH}} + 0.42705 \times \overline{\text{KDIF}} \quad (38)$$

con  $R^2$  adjt = 99.867%



Así pues, de (38) llegamos a  $PAR = 0.427$  [ $BeamH + KDIF$ ] =  $0.43 \times G_{lb}$ , en acuerdo con (37). (ver gráfico 10).

## 10. La Temperatura ambiental

La tierra se calienta durante el día, a causa de la radiación solar como agente térmico principal, aunque no único. Por la noche, nuestro planeta irradia su energía térmica (radiación infrarroja) hacia el cosmos, refrigerando su superficie.

Este continuo proceder establece un balance energético entre la tierra y su atmósfera más cercana. Por la mañana, la temperatura ambiental asciende a la par con el crecimiento de la radiación solar. Con todo, la hora de la temperatura máxima no coincide con la máxima altura solar; porque hacia el mediodía se produce una saturación térmica en los elementos constituyentes de la atmósfera, ocasionando el retraso propio de una constante térmica. Hacia las tres de la tarde, por lo general, la temperatura alcanza su máximo valor; para descender de nuevo con el decrecimiento de la radiación solar.

Por otra parte, la tierra está envuelta en una capa de aire, más densa en los primeros cuatro kilómetros de profundidad atmosférica, que constituye nuestro medio-aéreo en el que se originan las nubes. El vapor de agua y ciertos gases que se encuentran en el medio aéreo absorben gran parte de la onda térmica proveniente de la tierra, mientras el resto de la radiación escapa a la estratosfera.

Los gases atmosféricos contienen partículas o aerosoles que alteran el equilibrio térmico atmosférico, al reaccionar con el oxígeno presente y absorber mayor energía calorífica. Esta radiación infrarroja no atraviesa prácticamente las nubes ni la capa de gases predominantes en la troposfera; de modo que este flujo térmico es reflejado en gran parte de vuelta a

la tierra, incrementando el calor ambiental. Todo lo cual forma parte del fenómeno conocido como el "efecto invernadero" (López, 1998).

Para mejor poder correlacionar las diversas variables solares y atmosféricas entre sí, se ha considerado una temperatura diurna (5am.-7pm.) y otra nocturna (7pm.-5am.). La **tabla XIII** (pág. 36) muestra por décadas-1998 los valores medios de la temperatura diurna (TPDY) y nocturna (TPNT), representados en el **gráfico 11**. Se observa una clara correlación entre ambas temperaturas, con excepción de la década 30 (21-31/Oct) correspondiente a la presencia del huracán Mitch; en cuyos días y noches hubo una gran cobertura de nubes.

La diferencia de temperaturas medias entre el día y la noche fue de tan sólo  $1.85\text{ }^{\circ}\text{C}$  para la década 30, mientras el valor medio de las otras diferencias fue de  $4.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Así pues, el valor de la década 30 corresponde a un punto "fuera de serie".

Para las restantes 35 décadas obtenemos la siguiente correlación:

$$TPDY = 3.75523 + 1.01058 \times TPNT \quad (39)$$

$$\text{con } R^2 \text{ adjt} = 95.0933\% \text{ y E.S.} = 0.366271$$

Considerando los 120 valores medios mensuales de la década 1989-98:

$$TD = 3.24838 + 1.02538 \times TN \quad (40)$$

$$\text{con } R^2 \text{ adjt} = 96.9878\% \text{ y E.S.} = 0.463402$$

Cabe mencionar aquí que a partir de 1994 empezó a incrementarse el nivel medio de las temperaturas diurnas y nocturnas, a causa de los incendios agrícolas y las quemas forestales (López, 1998).

Así pues, la actividad humana o los procesos antropogénicos pueden aumentar las concen-

traciones de los principales agentes del Efecto Invernadero Natural, ocasionando desequilibrios energéticos en la troposfera que llevan a un aumento de la temperatura ambiental.

En efecto, así sucedió de un modo especial en 1998, cuando se produjeron unos 16 mil fuegos, en Nicaragua, registrados por satélite, entre los meses de marzo y mayo.

### Frecuencias

En la **tabla XIV** (pág. 38) se presenta la distribución de las frecuencias acumulativas de la temperatura del ambiente, registradas con una sonda Pt 100, en la estación Vadstena-UCA.

En la **tabla XIV** se observa que: durante un día del invierno tropical se da la frecuencia acumulativa de 8.60 hrs con una temperatura de al menos 32 °C; mientras por la noche del verano acontecen 3.74 hrs de al menos 30 °C.

Los gráficos **12 y 13** representan los datos de la **tabla XIV**. Observamos que para la temperatura diurna, el verano comienza a diferenciarse a partir de los 29°C y no es extraño alcanzar la temperatura de los 40°C. En cuanto a las temperaturas nocturnas, las dos estaciones se diferencian a partir de los 27°C; la noche del invierno se mantiene por debajo de los 34°C, que puede acontecer hacia las 8pm.

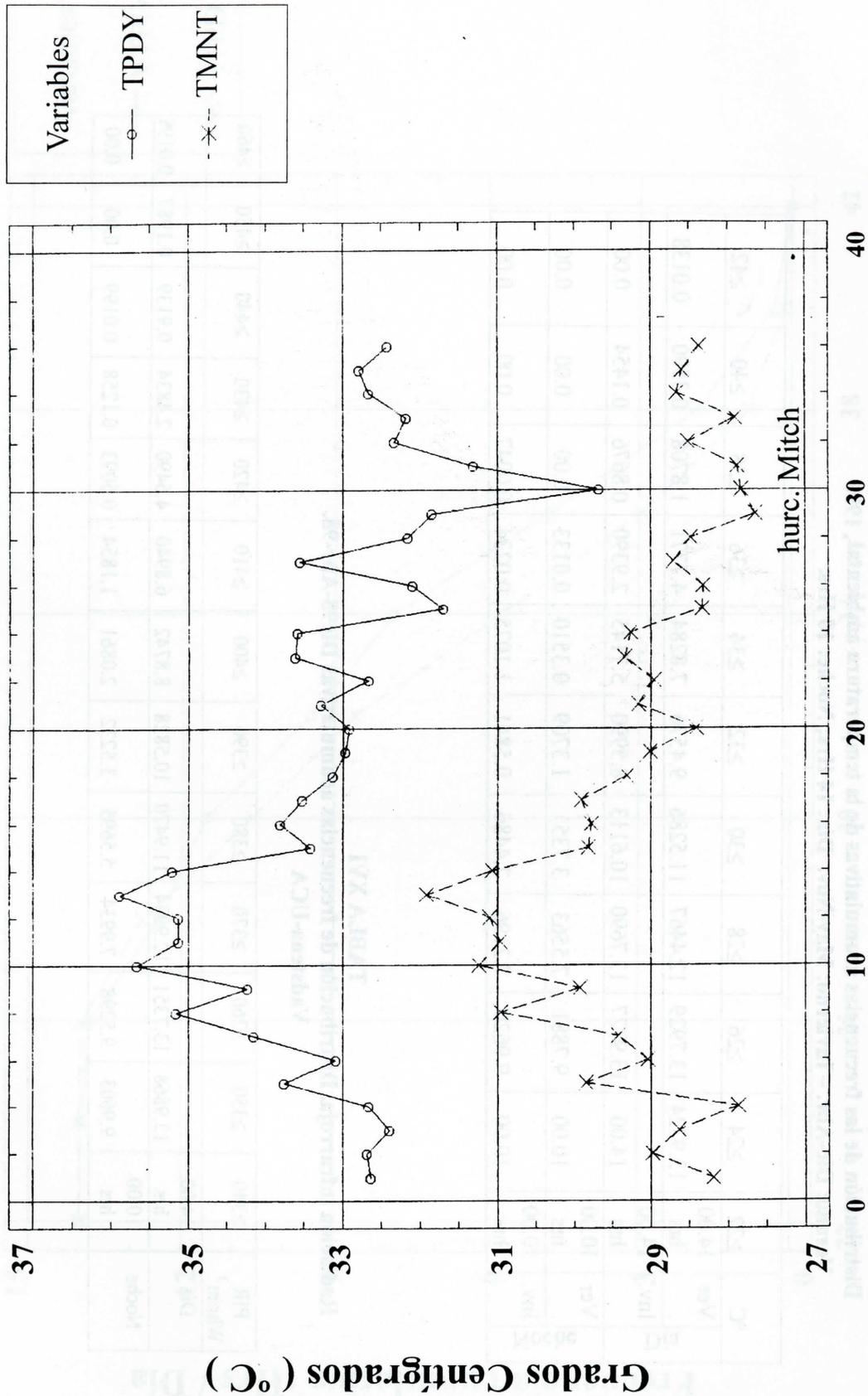
Otra representación conveniente de la **tabla XIV** se obtiene normalizando las frecuencias acumulativas, gráficos **14 y 15**. De esta manera es posible comparar los porcentajes de las frecuencias diurnas y nocturnas con respecto a una misma temperatura considerada. Así, en verano, un 85% del día presenta horas con temperaturas de al menos 30 °C, mientras esto sólo acontece el 40% de la noche. En invierno, para  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  la frecuencia acumulativa alcanza el 75% del día y no más del 25% de la noche.

**TABLA XIII**  
**Temperatura °C .Vadstena-UCA (1998)**

<b>Mes</b>	<b>5am.-7pm.</b>	<b>7pm.-5am.</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>	<b>Noche</b>
	<b>Día</b>	<b>Noche</b>			
<b>Enr</b>			<b>Jul</b>		
1-10	32.64	28.19	1-10	32.97	29.01
11-20	32.69	28.98	11-20	32.92	28.41
21-31	32.92	28.63	21-31	33.28	29.16
<b>Feb</b>			<b>Agt</b>		
1-10	32.64	27.87	1-10	32.67	28.96
11-20	32.67	29.56	11-20	33.62	29.34
21-28	33.09	28.85	21-31	33.59	29.26
<b>Mar</b>			<b>Spt</b>		
1-10	35.16	30.96	1-10	31.70	28.33
11-20	34.15	29.42	11-20	32.10	28.32
21-31	34.23	29.93	21-30	33.56	28.71
<b>Abr</b>			<b>Oct.</b>		
1-10	35.67	31.24	1-10	32.16	28.48
11-20	35.13	30.97	11-20	31.85	27.64
21-30	35.13	31.10	*21-31	29.68	27.83
<b>May</b>			<b>Nov</b>		
1-10	35.89	31.92	1-10	31.31	27.88
11-20	35.21	31.07	11-20	32.33	28.51
21-31	33.41	29.82	21-30	32.18	27.91
<b>Jun</b>			<b>Dic</b>		
1-10	33.81	29.78	1-10	32.67	28.67
11-20	33.52	29.91	11-20	32.79	28.59
21-30	33.13	29.31	21-31	32.42	28.37

\* Huracán Mitch

**Gráfico 11**  
**Temperatura día y noche**



**Décadas Enr - Dic 1998**  
Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

**TABLA XIV**

**Distribución de las frecuencias acumulativas de la temperatura ambiental, 1998**  
**Verano: Dic-Abr. – Invierno: May-Nov. Día: 14 Hrs; Noche: 10 Hrs.**

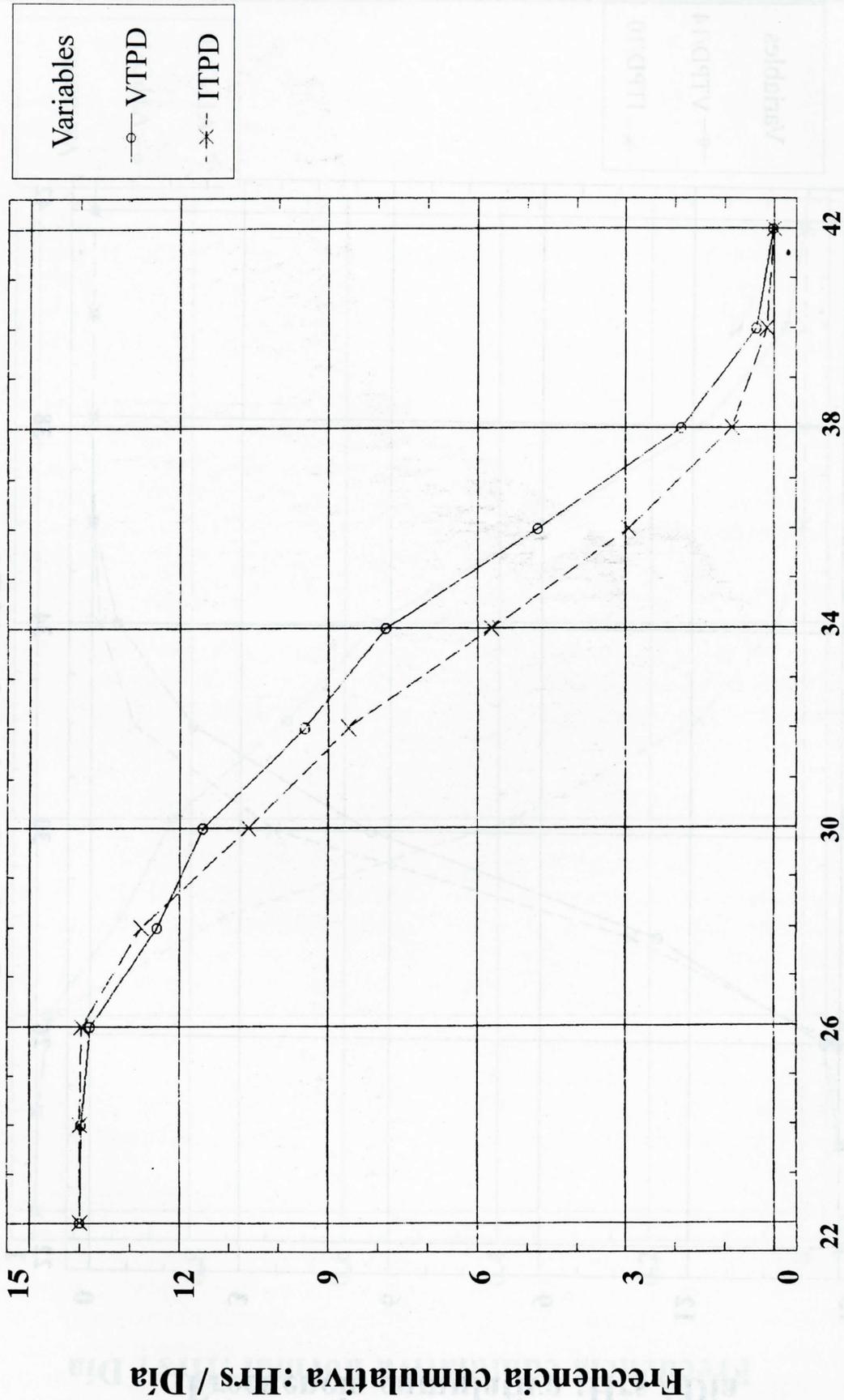
°C	≥22	≥24	≥26	≥28	≥30	≥32	≥34	≥36	≥38	≥40	≥42
Ver Día 14.00 hrs	13.9724	13.7929	12.4467	11.5286	9.4576	7.8284	4.7771	1.8708	0.3590	0.0138	
Inv. 14.00 hrs	14.00	13.9727	13.7690	10.6113	8.5990	5.7145	2.9390	0.8676	0.1454	0.00	
Ver 10.00 hrs	10.00	9.7881	7.5563	3.7351	1.3709	0.3510	0.0133	0.00	0.00	0.00	
Inv. 10.00 hrs	10.00	9.9626	7.2196	2.4486	0.5841	1.1075	0.0234	0.0047	0.00	0.00	

**TABLA XVI**

**Radiación infrarroja. Distribución de frecuencias acumulativas Dic98-Abr-98.**  
**Vadstena-UCA**

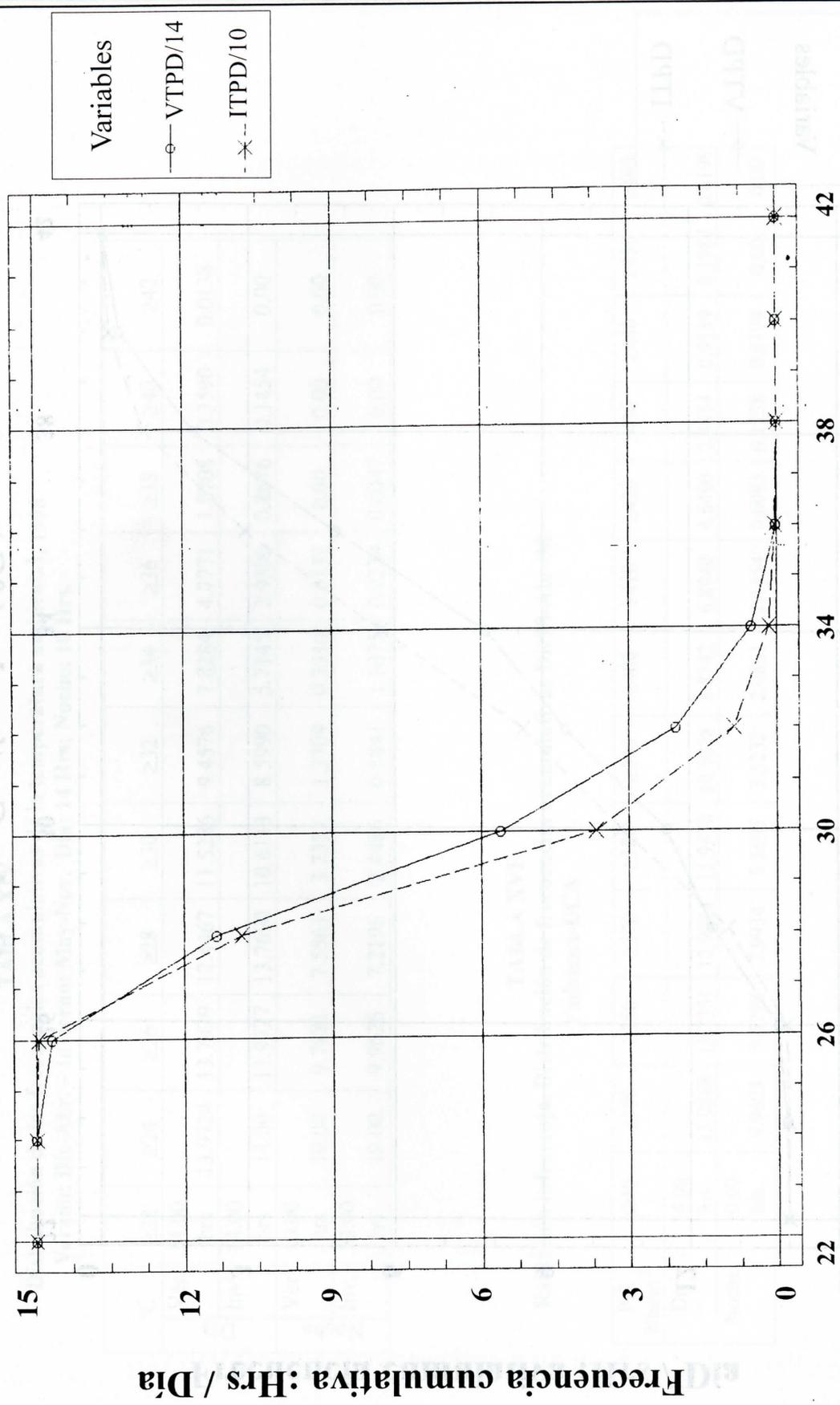
PIR Whr/m <sup>2</sup>	≥340	≥350	≥360	≥370	≥380	≥390	≥400	≥410	≥420	≥430	≥440	≥450	≥460
Día 14.00 hrs	13.9868	13.7351	12.9934	11.9470	10.5828	8.8742	6.8940	4.6490	2.4834	0.9139	0.1987	0.0195	
Noche 10.00 hrs	9.9603	9.5298	7.9934	5.5695	3.5232	2.0861	1.1854	0.6093	0.1258	0.0199	0.00	0.00	

**Gráfico 12**  
**Temperatura día : Verano e Invierno. - 1998**



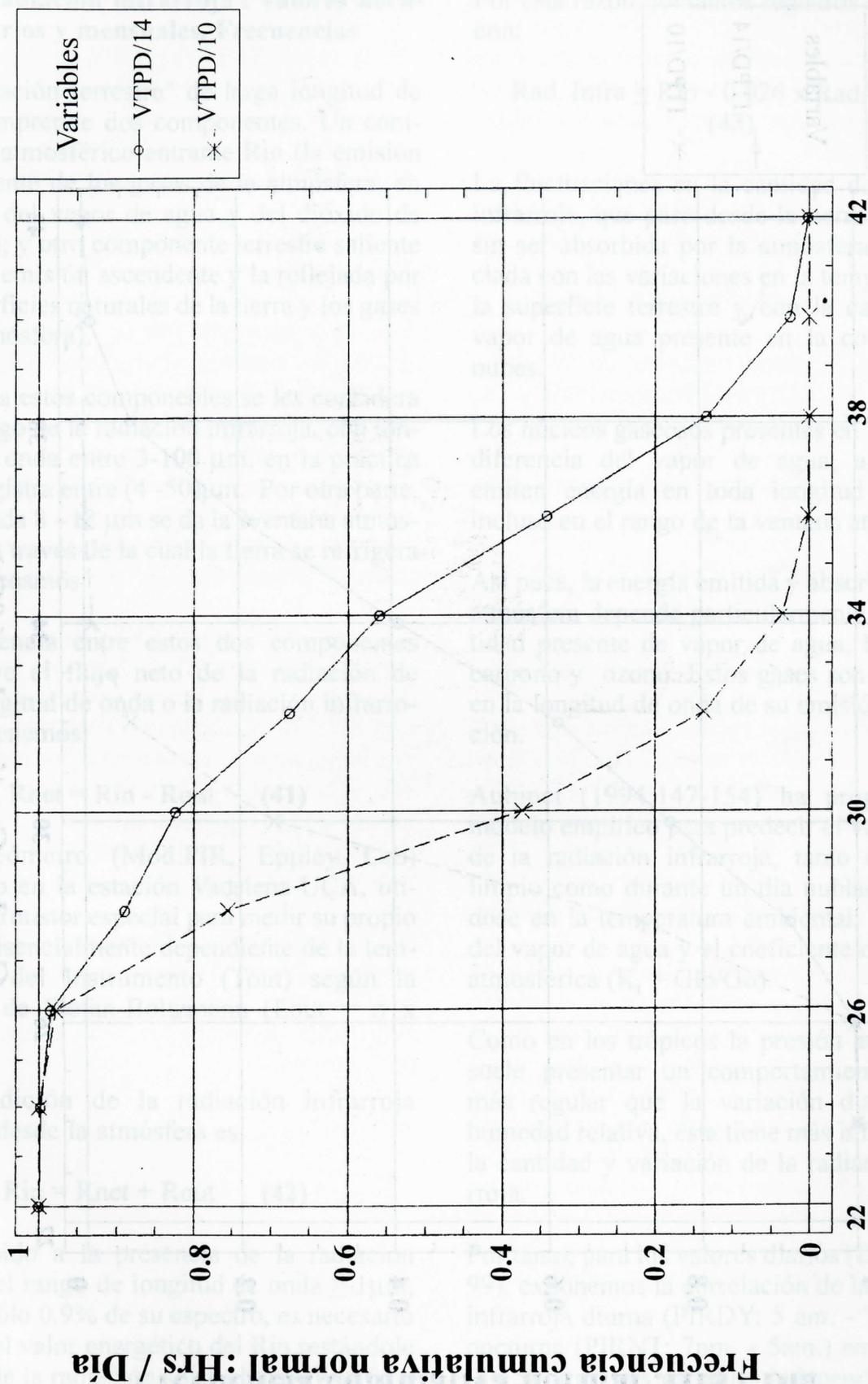
**Grados Centígrados ( °C )**  
 Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

Gráfico 13  
Temperatura noche : Verano e Invierno. - 1998



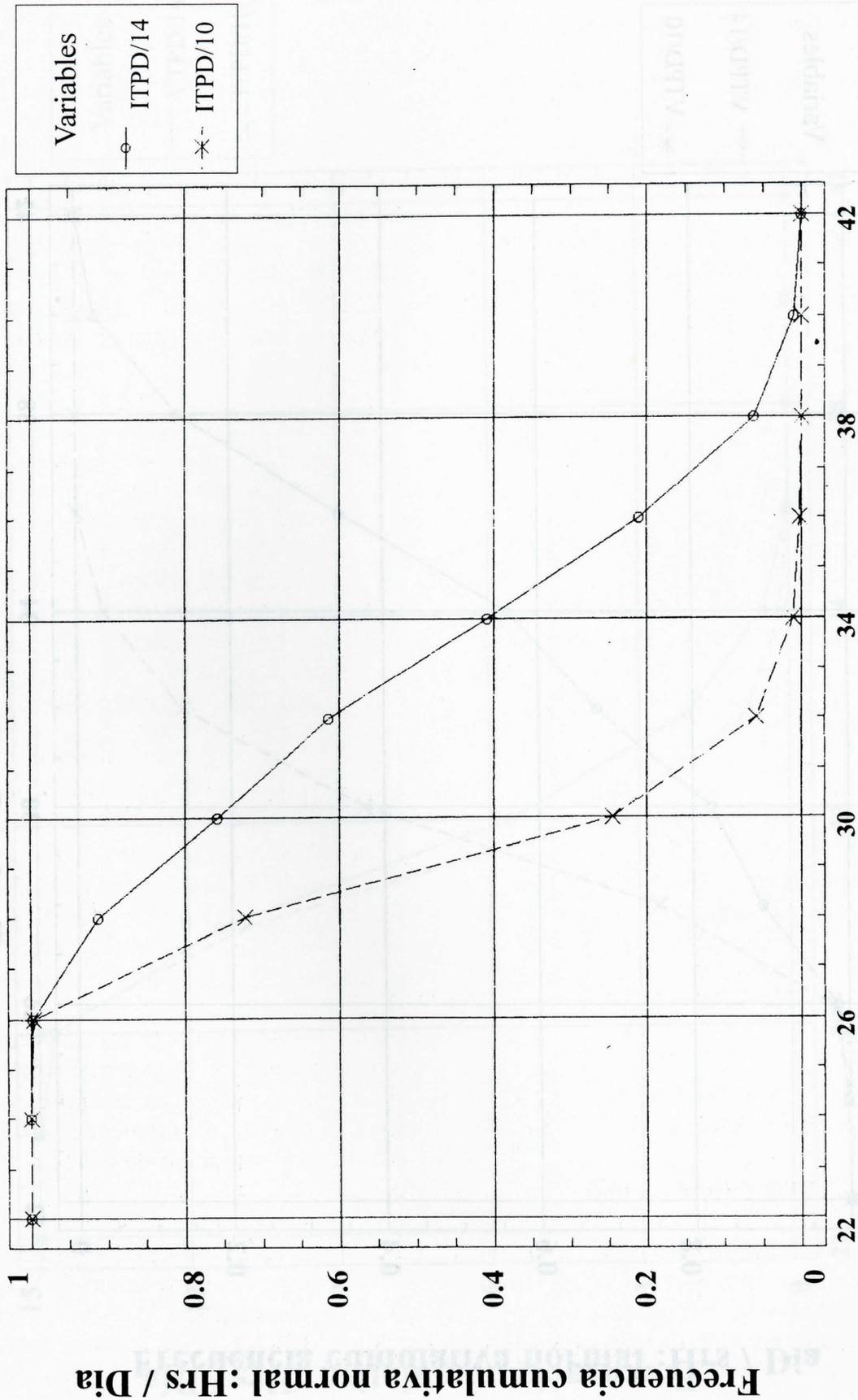
Grados Centígrados (°C)  
Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

**Gráfico 14**  
**Temperatura Verano : Día y Noche - 1998**



**Grados Centígrados ( °C )**  
**Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA**

**Gráfico 15**  
**Temperatura Invierno : Día y Noche - 1998**



**Grados Centígrados ( °C )**  
 Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

## 11. La radiación infrarroja . Valores horarios, diarios y mensuales. Frecuencias

La "radiación terrestre" de larga longitud de onda comprende dos componentes. Un componente atmosférico entrante  $R_{in}$  (la emisión descendente de los gases de la atmósfera, en especial del vapor de agua y del dióxido de carbono); y otro componente terrestre saliente  $R_{out}$  (la emisión ascendente y la reflejada por las superficies naturales de la tierra y los gases de la atmósfera).

Aunque a estos componentes se les considera en el rango de la radiación infrarroja, con longitud de onda entre 3-100  $\mu\text{m}$ , en la práctica se les registra entre (4 -50) $\mu\text{m}$ . Por otra parte, en la banda 8 - 12  $\mu\text{m}$  se da la "ventana atmosférica", a través de la cual la tierra se refrigera hacia el cosmos.

La diferencia entre estos dos componentes constituye el flujo neto de la radiación de larga longitud de onda o la radiación infrarroja. Así, tenemos:

$$R_{net} = R_{in} - R_{out} \quad (41)$$

El pirgeómetro (Mod.PIR, Eppley Lab) empleado en la estación Vadstena-UCA, utiliza un termistor especial para medir su propio  $R_{out}$ ; y esencialmente dependiente de la temperatura del instrumento ( $T_{out}$ ) según la relación de Stefan-Boltzmann ( $E_{out} = \sigma \times T_{out}^4$ ).

La medición de la radiación infrarroja entrante desde la atmósfera es:

$$R_{in} = R_{net} + R_{out} \quad (42)$$

Pero debido a la presencia de la radiación solar en el rango de longitud de onda  $\geq 1\mu\text{m}$ , con tan sólo 0.9% de su espectro, es necesario corregir el valor energético del  $R_{in}$  restándole el 2.6% de la radiación solar global (Wardle y Mc. Arthur, 1987: pág. 177).

Por esta razón, tomamos registros de acuerdo con:

$$\text{Rad. Infra} \equiv R_{in} - 0.026 \times \text{Rad. Global} \quad (43)$$

La fluctuaciones en la cantidad de radiación infrarroja, que pasa desde la tierra al espacio sin ser absorbida por la atmósfera, está asociada con las variaciones en la temperatura de la superficie terrestre y con la cantidad del vapor de agua presente en la cobertura de nubes.

Los núcleos gaseosos presentes en la nubes, a diferencia del vapor de agua, absorben y emiten energía en toda longitud de onda; incluso en el rango de la ventana atmosférica.

Así pues, la energía emitida y absorbida por la atmósfera depende particularmente de la cantidad presente de vapor de agua, bióxido de carbono y ozono. Estos gases son selectivos en la longitud de onda de su emisión y absorción.

Aubinet (1994:147-154) ha propuesto un modelo empírico para predecir el valor medio de la radiación infrarroja, tanto en un día limpio como durante un día nublado; basándose en la temperatura ambiental, la presión del vapor de agua y el coeficiente de claridad atmosférica ( $K_t = G_{lb}/G_o$ ).

Como en los trópicos la presión atmosférica suele presentar un comportamiento mucho más regular que la variación diaria de la humedad relativa, ésta tiene más influencia en la cantidad y variación de la radiación infrarroja.

Por tanto, para los valores diarios (Dic 98-Abr 99), exponemos la correlación de la radiación infrarroja diurna (PIRDY: 5 am. - 7pm.) y la nocturna (PIRNT: 7pm. - 5am.) en el rango (4 - 50)  $\mu\text{m}$ . Las variables independientes son la temperatura ambiental media diurna

(TMDY) o nocturna (TMNT), la humedad relativa (RHD%) diurna o (RHN%) nocturna, y la cobertura de nubes durante el día. Estas variables suelen registrarse en toda estación meteorológica. Así tenemos para los valores medios horarios:

$$\overline{\text{PIRDY}} = 9.74622 \times \overline{\text{TMDY}} + 8.28233 \times \overline{\text{RHD}} + 4.18398 \times \overline{\text{Oct}} \quad (44)$$

Con  $R^2$  adjt = 99.9288% y E.S. = 10.8761

donde PIRDY tiene unidades de Whr/m<sup>2</sup>, TMDY es °C, RDH está en porcentaje y Oct son las octas fraccionarias del día.

En cuanto al comportamiento nocturno obtenemos

$$\overline{\text{PIRNT}} = 9.15126 \times \overline{\text{TMNT}} + 15.28233 \times \overline{\text{RHD}} \quad (45)$$

Con  $R^2$  adjt = 99.9157% y E.S. = 11.1902

El **gráfico 16** presenta los valores diurnos y nocturnos del verano tropical Dic 98 - Abril 99. Observamos una considerable regularidad en ambas curvas, con niveles energéticos medios de 5695 W hr/m<sup>2</sup> diurnos y 3851 W/m<sup>2</sup> noche, así como un valor medio diario de 9545 Whr/m<sup>2</sup> día (24 hrs) o de 398 Whr/m<sup>2</sup>.

Las diferencias energéticas entre la radiación infrarroja diurna y nocturna, para el mismo período del verano tropical, aparecen en el **gráfico 17**. El valor medio de las diferencias se sitúa en  $[5695/14 - 3851/10] = 21.68$  Whr/m<sup>2</sup>; correspondiéndole una temperatura ambiental diferencia de 4.04 °C (TMDY - TMNT) según la sección 10. Al acontecer un día caluroso y con muchas nubes, seguida de una noche estrellada, podemos esperar una máxima diferencia (48 Whr/m<sup>2</sup>) entre valores medio-horarios.

## Valores medios mensuales

En la **tabla XVII** (pág. 49) se muestran las diferencias de valores medios mensuales de la radiación infrarroja, que presenta una gran regularidad, con un valor medio mensual de 9547 Whr/m<sup>2</sup> día y dispersión del 1.7%.

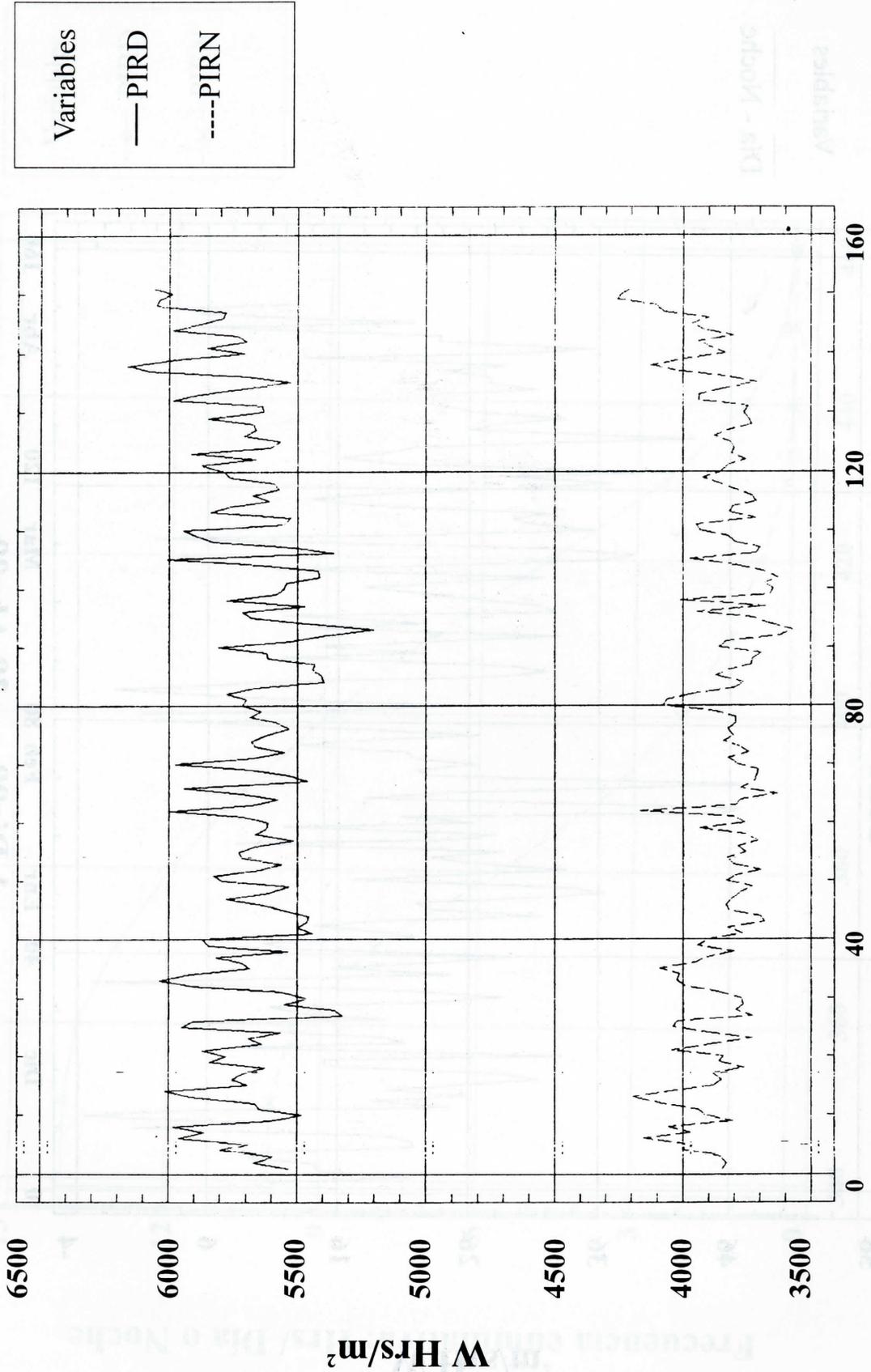
## Frecuencias

Los datos térmicos son de importancia en el diseño de sistemas energéticos caloríficos o de refrigeración, así como en las aplicaciones de arquitectura, agricultura, acuicultura y en el estudio y análisis de los cambios climáticos. Por tanto, nos ha parecido conveniente presentar las frecuencias acumulativas, diurnas y nocturnas de la radiación infrarroja correspondiente al período Dic 98 - Abr 99. (**tabla XVI**).

Los datos de la **tabla XVI** (ver pág. 38) están expuestos en el **gráfico 18**, donde leemos que durante un día del verano tropical se dan 9 hrs con nivel de al menos 400 Whr/m<sup>2</sup>; mientras por la noche sólo acontecen 2 hrs para niveles 400 Whr/m<sup>2</sup>. En el mismo gráfico 18, observamos que la radiación infrarroja se mantiene durante el día entre (350-460) Whr/m<sup>2</sup>; y por la noche varía entre (340 y 440) Whr/m<sup>2</sup>.

Al normalizar las frecuencias acumulativas respecto al total de horas diurnas y nocturnas **gráfico 19**, notaremos que el nivel 400 Whr/m<sup>2</sup> se da durante un 20% de la noche y un 65% del día.

**Gráfico 16**  
**Infrarrojo Día (14 hrs) y Noche (10 hrs)**

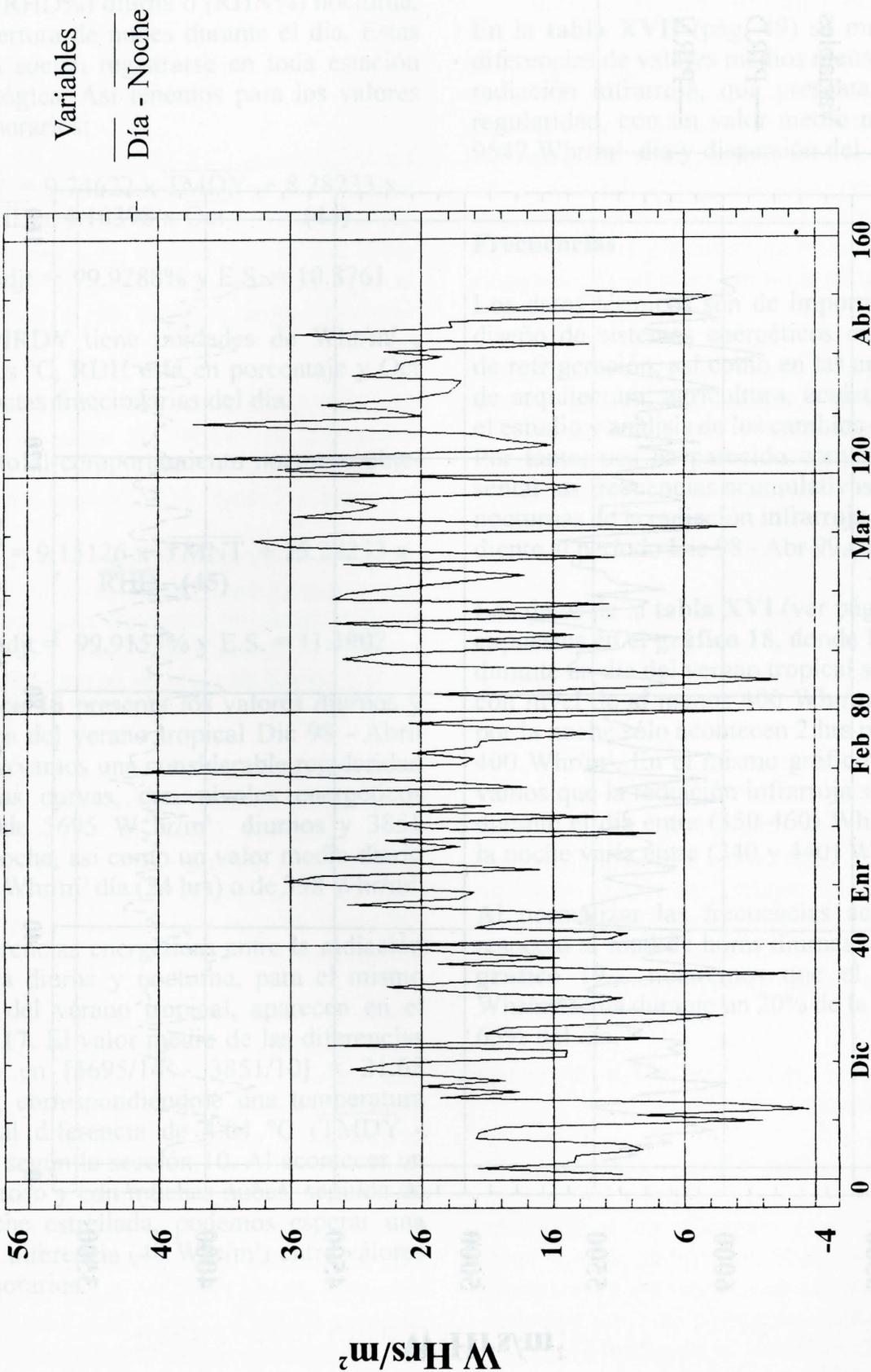


**1-Dic98 -- 30-Abr99**

**Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA**

Gráfico 17

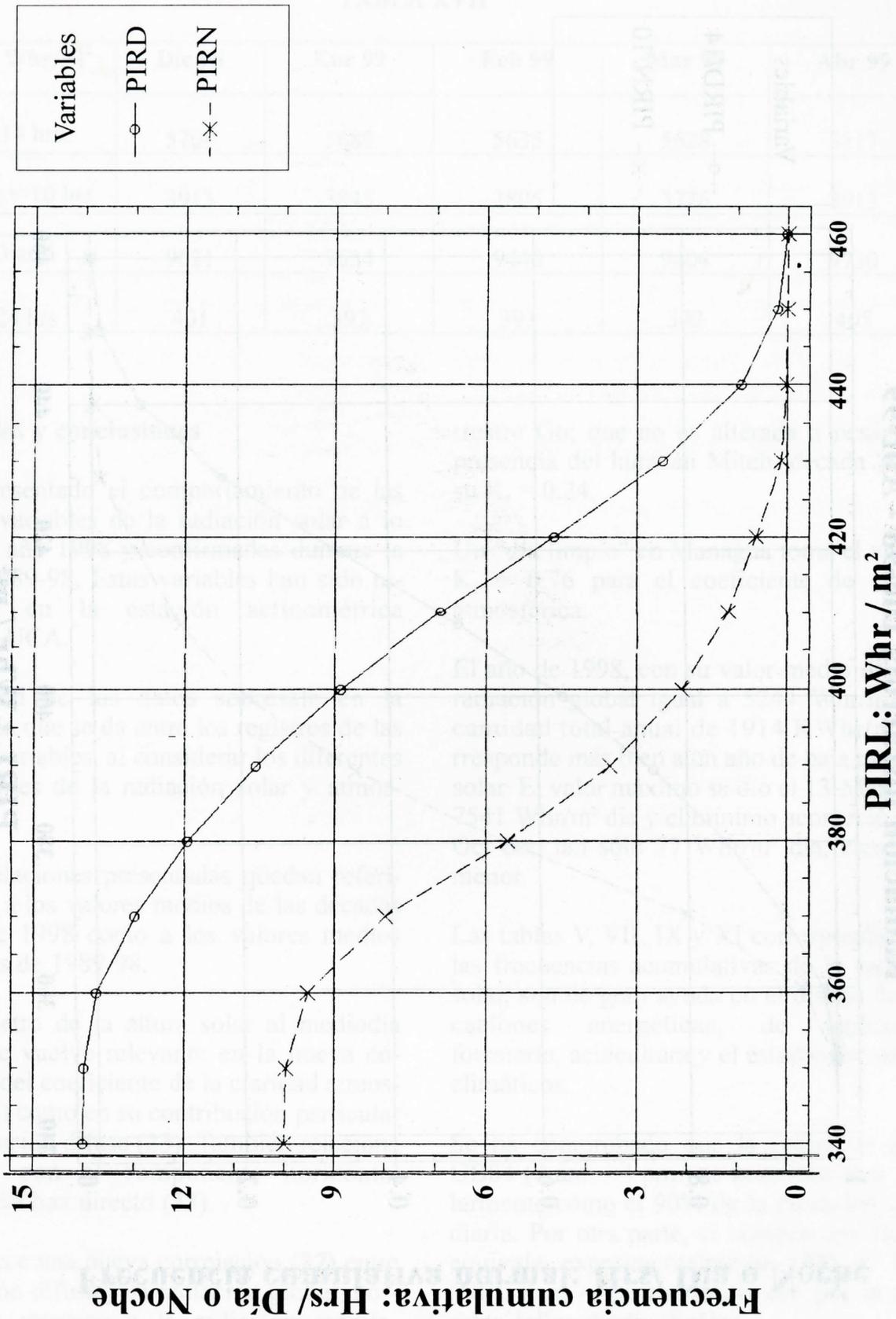
Radiación infrarroja; (Día /14) hrs - (Noche / 10) hrs



1-Dic98 -- 30-Abr99

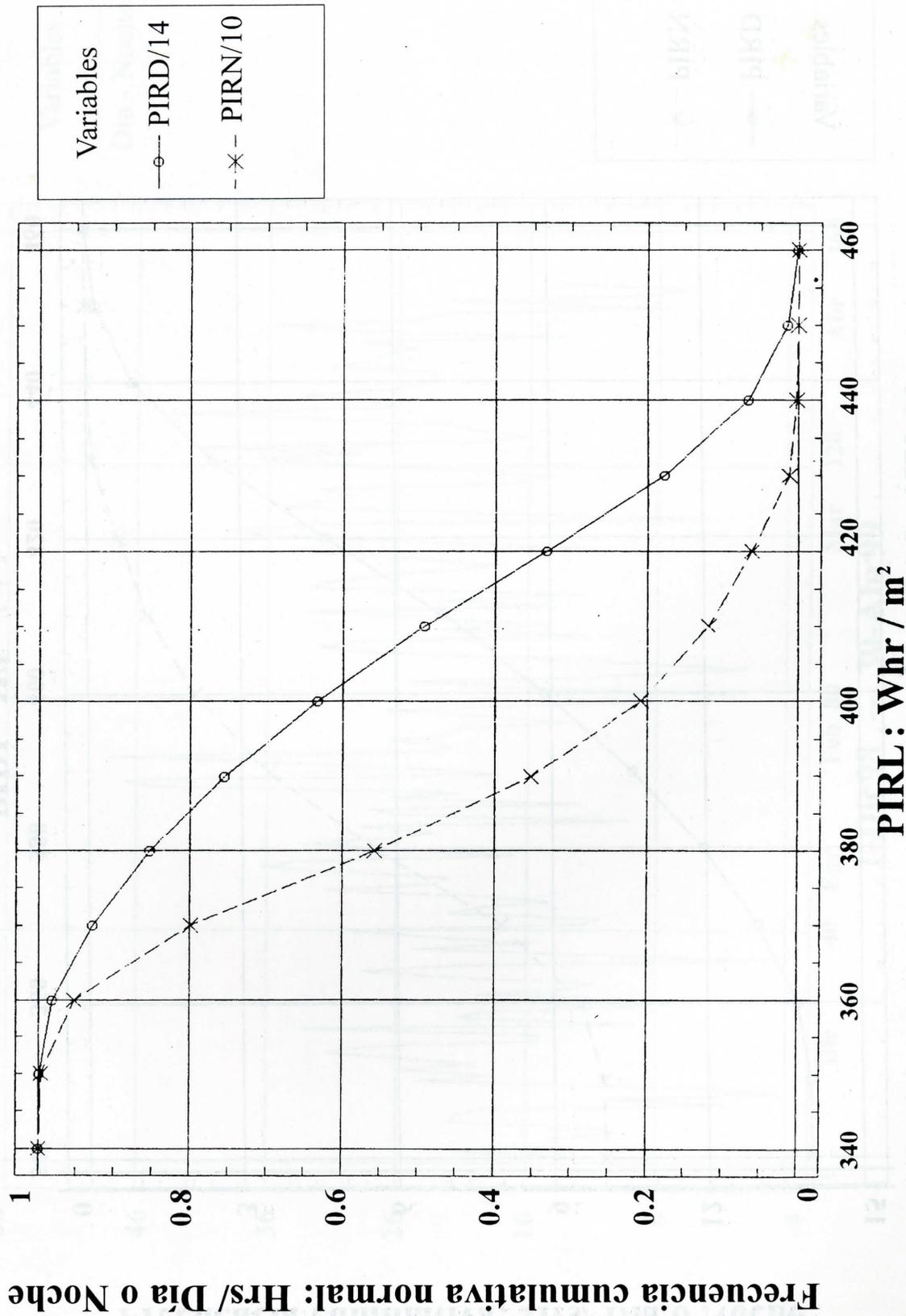
Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

**Gráfico 18**  
**Radiación infrarroja Dic-98 - Abr-99**



**Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA**

**Gráfico 19**  
**Radiación infrarroja Dic-98 - Abr-99**



Fuente: Estación Actinométrica VADSTENA-UCA

TABLA XVII

PIR Whr/M <sup>2</sup>	Dic 98	Enr 99	Feb 99	Mar 99	Abr 99
$\overline{\text{Día}} = 14 \text{ hrs.}$	5708	5689	5635	5628	5817
$\overline{\text{Noche}} = 10 \text{ hrs}$	3913	3845	3805	3776	3913
$\overline{\text{Diario}}$	9621	9534	9440	9404	9730
/24 hrs	401	397	393	392	405

## Resultados y conclusiones

Se ha presentado el comportamiento de las diversas variables de la radiación solar a lo largo del año 1998 y confirmadas durante la década 1989-98. Estas variables han sido registradas en la estación actinométrica Vadstena-UCA.

La calidad de los datos sobresale en la coherencia que se da entre los registros de las diversas variables, al considerar los diferentes componentes de la radiación solar y atmosférica.

Las correlaciones presentadas quedan referidas tanto a los valores medios de las décadas diarias de 1998 como a los valores medios mensuales de 1989-98.

El parámetro de la altura solar al mediodía ( $S_nH_n$ ) se vuelve relevante en la nueva correlación del coeficiente de la claridad atmosférica (15) como en su contribución particular de la radiación difusa (23). También relaciona el NP84 con el componente horizontal BeamH, del haz directo (33).

Se establece una nueva correlación (27) entre la radiación difusa y la radiación global, normalizadas respecto a la radiación extrate-

restre Go; que no es alterada a pesar de la presencia del huracán Mitch, década 30, con su  $K_t = 0.24$ .

Un "día limpio" en Managua toma el valor de  $K_t = 0.76$  para el coeficiente de claridad atmosférica.

El año de 1998, con su valor medio diario de radiación global igual a 5244 Whr/m<sup>2</sup> y su cantidad total anual de 1914 KWhr/m<sup>2</sup>, corresponde más bien a un año de baja radiación solar. El valor máximo se dio el 13-Marzo con 7541 Whr/m<sup>2</sup> día y el mínimo aconteció el 30-Oct con tan sólo 77 Whr/m<sup>2</sup> día, cien veces menor.

Las tablas V, VII, IX y XI correspondientes a las frecuencias acumulativas de la radiación solar, son de gran ayuda en el diseño de aplicaciones energéticas, de agricultura, forestería, acuicultura y el estudio de cambios climáticos.

Se ha comprobado que la radiación global GB84 (8 am. - 4 pm.) se mantiene muy regularmente como el 90% de la radiación global diaria. Por otra parte, el componente BeamH equivale experimentalmente (33) al NP84 (NIP: 8am - 4pm) multiplicado por la altura solar del mediodía ( $S_nH_n$ ).

Se da una estrecha correlación entre los valores de la temperatura media diurna y nocturna (39), tanto para las décadas de 1998 como para los valores mensuales de la década 1989-98. Las frecuencias acumulativas de la temperatura, tabla XIV, y sus correspondientes gráficos muestran las altas temperaturas ambientales de Managua, donde ocasionalmente se llegó a 42°C hacia las 4pm.

Por vez primera se ha registrado y analizado la radiación infrarroja en Managua, la cual presenta una gran estabilidad. Horariamente, entre el día y la noche se pueden obtener diferencias extremas de 100 Whr/m<sup>2</sup>, aunque la diferencia de sus valores medios (día-noche) se mantiene alrededor de 22 W hr/m<sup>2</sup>.

Se han calculado las regresiones (44) y (45) de la radiación infrarroja, diurna y nocturna, en función de los parámetros contribuyentes; a saber, la temperatura media, la humedad relativa media y la cobertura de nubes.

Finalmente, las frecuencias acumulativas, tabla XVI (pág. 38) y sus gráficos representativos, permitirán abordar de un modo mejor que hasta el presente, las aplicaciones prácticas en la arquitectura, agricultura, acuicultura y el estudio de los cambios climáticos.

*VADSTENA-UCA, 17 de julio de 1999*

## Bibliografía

- AUBINET, M. (1994). "Longwave Sky Radiation Parameterization", en *Solar Energy*. Vol. 53, No. 2.
- BIGA, A.; ROSA, R. (1980). "Estimating solar irradiation sums from sunshine and cloud observation", en *Solar Energy* - vol 25.
- IQBAL, (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press. Canada.
- JOSEPHSON, W- (1988) - Comunicación Privada -SMHI Norrköping.
- KIPP y ZÖNEN. (1982). *Manual of pyranometer with shadow ring*. Holland.
- LICOR (1980). *Instruction Manual*. Nebraska. Quantum Sensor LI-190SB.
- LOPEZ, J. (1989). *Modelo atmosférico de la radiación solar*. Managua. Editorial UCA.
- LOPEZ, J. (1994). *Mapas solares de Nicaragua*. Managua. Editorial UCA.
- LOPEZ, J. (1998). "La temperatura ambiental en Managua y el efecto invernadero, 1989-1998" en *Rev. Encuentro*, No. 46. Managua.
- PRESCOTT, J. (1940). "Evaporation from a water surface in relation to solar radiation", *Trans. R. Soc. S. Aust.* Vol. 64.
- WALDLE, D. y Mc. ARTHUR, L.J. (1987). "Ground level monitoring of long-wave irradiance with Eppley Pyrgeometer", en *J. Appl. Meteor.*

## **Agradecimiento**

Ante todo deseo expresar un agradecimiento a la Dirección de Investigación de la UCA, que ha mostrado su continuo apoyo para la realización y publicación de este "Cuaderno de Investigación".

Sin la cooperación del Ingeniero Sergio Torres, encargado del programa operativo en Visual-Basic de la Estación Vadstena-UCA y del Licenciado Juan Gómez al frente de la instrumentación, no habría sido posible obtener los datos de alta calidad. Agradezco al Ingeniero Freddy Rodríguez S.J. el haber revisado el manuscrito.

También estoy agradecido al Dr. Adolfo López de la Fuente, S.J., que mantuvo mi ánimo y apoyo en la continuación de los estudios y análisis de la radiación solar.

Para todos aquellas personas que han contribuido de alguna manera a que esta investigación se hiciera realidad, mi sincero agradecimiento.

## OTRAS PUBLICACIONES PERIÓDICAS DE LA UCA



**Envío.** Es una revista de análisis político y de estudios socio-económicos. Posee un enfoque predominantemente nacional (Nicaragua) y regional (México, Centroamérica y el Caribe), pero aborda con regularidad temas sobre el nuevo orden internacional y ecología. Aparece cada mes y se publica en español, inglés e italiano. Dirección: Revista Envío. Apdo. postal A-194, Managua, Nicaragua. Tel: (505) 278-2557 / 277-4888. Fax: (505) 277-2583. E-mail: envio@ns.uca.edu.ni



**Revista de Historia.** Es una publicación semestral del Instituto de Historia de Nicaragua y Centroamérica (IHNCA). Difunde los resultados de las investigaciones sobre la historia de Nicaragua y la región centroamericana realizadas por sus propios investigadores o por historiadores de otras instituciones nacionales o extranjeras. Dirección: Instituto de Historia de Nicaragua y Centroamérica. Apdo. postal C-186, Managua, Nicaragua. Tel: (505) 278-7317 / 278-7348. Fax: (505) 278-7342. E-mail: ihn@ns.uca.edu.ni



**Wani.** Es una revista especializada en la Costa Atlántica de Nicaragua. Sus artículos abordan el estudio de la sociedad, la cultura, la economía, la historia y los recursos naturales del caribe nicaraguense. Es una publicación trimestral editada por el Centro de Investigación y Documentación de la Costa Atlántica (CIDCA). Dirección: CIDCA. Apdo. postal A-189, Managua, Nicaragua. Tel.: (505) 278-0854 / 278-4930. Fax: (505) 278-4089. E-mail: cidca@ns.uca.edu.ni



**Taller de Historia.** Aparece dos veces al año. Es editada por el Instituto de Historia de Nicaragua y Centroamérica (IHNCA). Contiene textos y materiales bibliográficos destinados a servir de apoyo pedagógico a la enseñanza de la historia en las instituciones de Educación Superior. Dirección: Instituto de Historia de Nicaragua y Centroamérica. Apdo. postal C-186, Managua, Nicaragua. Tel.: (505) 278-7317 / 278-7348. Fax: (505) 278-7342. E-mail: ihn@ns.uca.edu.ni



**Cuadernos de investigación de Nitlapán.** Recogen los resultados de las investigaciones realizadas por el Instituto Nitlapán. Es una publicación de carácter monográfico, especializada en temas económicos. Dirección: Instituto Nitlapán. Apdo. postal A-242, Managua, Nicaragua. Tel.: (505) 278-0627/28 y 278-1343/44. Fax: (505) 267-0436. E-mail: cedoc@ns.uca.edu.ni



**Revista Encuentro.** Fundada en el año de 1968, *Encuentro* es una publicación trimestral de la Universidad Centroamericana (UCA) de Managua, cuya edición está a cargo de la Dirección de Investigación de esta misma universidad. Es una revista con un perfil académico y científico, destinada a investigadores, profesores y estudiantes de la educación superior. Los artículos expresan las opiniones de sus autores y no necesariamente la posición editorial de la revista. Su contenido puede ser reproducido, citando la fuente y enviando copia de lo publicado a la Dirección de *Encuentro*. Solicitar información a: Tel.: (505) 278 3923 al 3927. Fax.: (505) 267 0106. E-mail: encuentr@ns.uca.edu.ni. Apdo. Postal N° 69, Managua, Nicaragua.