

MARIUS THERIAULT, ANDRE HUFTY, FERNANDO SHERIFF
Laboratorio de Climatología, Departamento de Geografía
Universidad Laval, Quebec, Canada

**EL EFECTO DE LAS VARIACIONES LATITUDINALES
Y ESTACIONALES DE LA RADIACION SOLAR RECIBIDA
SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS EN LA DEFINICION
DE LAS PENDIENTES DE SOLANA Y UMBRIA**

Los términos solana y umbría, según E. Bénévent (1926), son palabras que traducen la observación campesina sensible a los fenómenos climáticos que deciden la suerte de las cosechas. La descripción de los paisajes agrícolas y montañosos de los Alpes ha permitido el desarrollo de los calificativos de solana y umbría. Estos expresan la influencia de la exposición sobre la variación regional y local de los valores de temperatura y, por consecuencia, sobre la utilización del suelo. En esa región del Mundo, esos términos corresponden aproximadamente a las pendientes orientadas hacia el Norte y al Sur, durante la estación agrícola.

Habíamos notado ya que la diferencia entre la solana y la umbría no era constante y que dependía, además de la orientación, de la inclinación del terreno y de la estación. En su tratado sobre los Alpes, Bénévent señala también que, a ciertos momentos, las laderas orientadas hacia el Norte benefician de un periodo de insolación más largo que las laderas vecinas orientadas hacia el Sur. Cuando se trata de transponer esos términos a la escala planetaria es necesario considerar primordialmente la variación de la radiación solar y la

influencia de la latitud. El uso generalizado y no circunstancial de los términos solana y umbría los vuelve obsoletos cuando traducen simplemente la oposición entre las orientaciones Norte y Sur. En las regiones tropicales y subpolares y en el hemisferio austral, esos términos pierden el sentido inicial de la diferencia térmica, puesto que la distribución de la radiación solar cambia de orientación según la latitud y la estación.

En estas circunstancias, ¿podemos aún continuar de utilizar las palabras solana y umbría de manera extensiva? En el caso afirmativo ¿qué significación debe dárseles? Puesto que el sentido inicial de esos términos reposa en la diferencia de temperatura y la duración de la estación vegetativa, creemos necesario dar mayor importancia a los estudios del balance térmico sobre superficies inclinadas y orientadas. Entonces, nuevamente podríamos dar a esos términos su significación original y definir las condiciones de sus variaciones regionales y estacionales a fin de poder extender su aplicación y así responder a las preguntas antedichas.

W. H. Terjung y P. A. O'Rourke (1983) han publicado los resultados de una simula-

ción del balance térmico sobre superficies orientadas a lo largo de un corte longitudinal, siguiendo la costa americana. Tal estudio, limitado a un instante determinado (medio día de un 21 de Diciembre), ha demostrado que, para todas las latitudes, las variaciones de la radiación solar absorbida tienen una acción terminante en la explicación de las diferencias de temperatura del aire de las superficies inclinadas adyacentes. Esas conclusiones pueden aplicarse, probablemente, a todo el día, siendo necesario considerar entonces un probable aumento de la acción de la irradiación infrarroja nocturna y en cielo cubierto. Sin embargo, para poder construir una tipología exhaustiva de las pendientes orientadas, es necesario integrar el balance radiativo de todo el día; ahora bien, la cantidad cotidiana de la radiación solar absorbida depende, ella misma, de los factores astronómicos (fecha, declinación solar, distancia Tierra-Sol, posición del curso del Sol sobre la bóveda celeste local, hora y duración del día); planetarios (latitud del lugar); geométricos (declive del terreno y orientación de las superficies); topográficos (altitud y posición relativa de los relieves vecinos); geográficos (naturaleza y albedo de las superficies receptoras) y climáticos (presión atmosférica, humedad del aire, grado de contaminación, nubosidad: tipo y altura de las nubes, albedo de las nubes y planetario).

La diversidad de los factores complica el estudio del fenómeno. Así y todo se puede atribuir a ciertos factores una mayor importancia en la diferenciación de las pendientes; es necesario aislar el efecto de los factores de tipo astronómico, geométrico y planetario de los efectos locales ligados a las condiciones meteorológicas particulares y al estado de las superficies estudiadas. Este es el objetivo del presente artículo que propone una definición más amplia de los términos de solana y umbría, basados en el estudio sistemático de las variaciones de la intensidad de la radiación solar directa y recibida en las diferentes estaciones del año, sobre superficies inclinadas y orientadas. Limitaremos éste enfoque al nivel más general, es decir, al de las variaciones planetarias y estacionales, recordando siempre que será necesario integrar los factores ligados a los efectos climáticos y geográficos para poder precisar la aplicación local de las nociones de solana y umbría.

EL MODELO

El modelo utilizado para valuar la intensidad de la radiación solar directa ha sido propuesto por R. Dogniaux y su equipo (1970, 1975, 1976). La comparación de los datos obtenidos con los datos medidos han dado un margen de error medio del 5 por 100, para la evaluación de la radiación solar global horaria recibida, en tiempo despejado, sobre superficies orientadas (ver P. Valko [1980], A. Hufty y M. Thériault [1983]) y un pequeño margen de incertidumbre en la distribución de la componente directa sobre planos inclinados.

De manera general, los aportes anergéticos instantáneos valen:

$$E_s = I_s \cdot R^{-2} \quad (1)$$

donde:

E_s : Radiación solar recibida en el límite de la atmósfera, sobre una superficie normal (perpendicular) a los rayos solares ($w \cdot m^{-2}$).

I_s : Constante solar en el límite de la atmósfera (distancia media entre la Tierra y el Sol) ($1.353 w \cdot m^{-2}$).

R : Radio vector de la distancia Tierra-Sol obtenida según las ecuaciones astronómicas habituales (ver R. Dogniaux [1970]).

$$E_o = E_s \cdot e^{-T \cdot K \cdot m} \quad (2)$$

donde:

E_o : Radiación solar directa recibida al nivel del suelo, por buen tiempo, sobre una superficie normal a los rayos solares ($w \cdot m^{-2}$).

T : Factor de Turbiedad atmosférica, que mide la atenuación debido al polvo y la humedad del aire (ver más abajo).

K : Factor total de extinción de una atmósfera pura y seca (ver A. Hufty y M. Thériault [1983]).

m : Masa de aire óptica (ver R. Dogniaux [1970]).

$$T = [(h + 85) / (39,5 e^{\omega} + 47,4)] + 0,1 + (16 + 0,22\omega) \beta \quad (3)$$

donde:

ω : Espesor de la cantidad de agua precipitable contenida en la atmósfera (cm).

β : Coeficiente de turbiedad atmosférica (efecto del polvo).

h : Altura angular del Sol sobre el plano del horizonte local, obtenida según las ecuaciones habituales (ver R. Dogniaux [1970]).

**5 DE NOVIEMBRE
6 DE FEBRERO (Orientación Norte)**

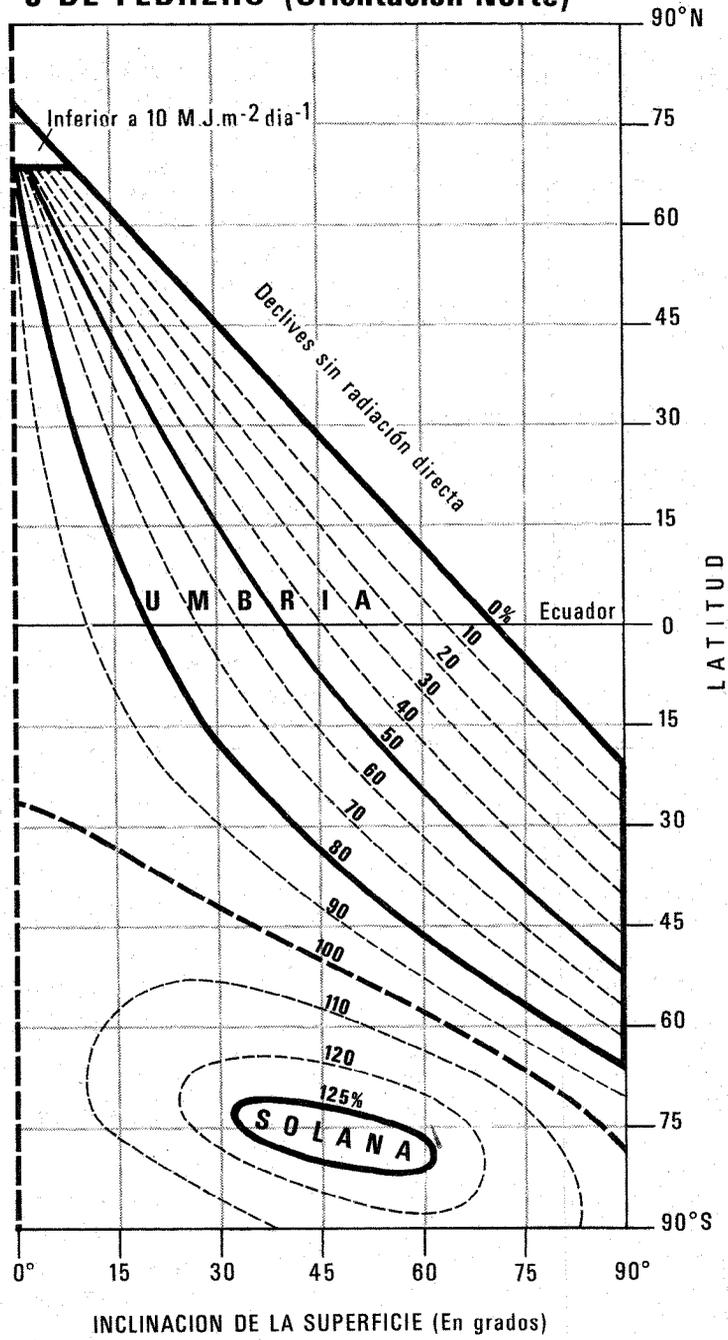


FIGURA 1

Esta altura varía en función de la latitud, la hora y la declinación solar sobre el plano ecuatorial en la fecha correspondiente.

$$Q_{op} = E_o \cdot \cos i \quad (4)$$

donde:

Q_{op} : Radiación solar directa recibida al nivel del suelo, por buen tiempo, sobre una superficie inclinada y orientada ($w \cdot m^{-2}$).

i : Angulo de incidencia de los rayos solares sobre una superficie cualquiera, de coordenadas:

p : inclinación,

P : dirección acimutal.

$$\cos i = \cos p \cdot \sin h + \sin p \cdot \cos h \cdot \cos (A-P) \quad (5)$$

siendo:

A : Dirección acimutal del Sol sobre el plano local (ver A. Hufty y M. Theriault [1983]). La orientación varía con la latitud, la hora, la declinación y la altura del Sol.

Para una superficie horizontal:

$$\begin{aligned} \cos i &= \sin h \text{ y} \\ Q_o &= E_o \sin h \end{aligned}$$

Todas estas ecuaciones evalúan la radiación solar directa recibida a cada instante sobre superficies inclinadas situadas a nivel del suelo. Es necesario integrar estos valores desde la salida hasta la puesta del Sol, para obtener los totales diarios, como los indicados en las tablas presentadas más adelante.

Los valores medios aplicados a las diferentes combinaciones de latitudes-estaciones, han sido utilizados en la evaluación del impacto del polvo y la humedad atmosférica sobre la variación de la radiación solar directa (ver tabla 1): El coeficiente de turbiedad atmosférica (β) varía entre 0,05 en el invierno de las regiones templadas y 0,20 en las regiones subtropicales durante la estación seca; el espesor de agua precipitable (ω) considerado, está comprendido entre 0,5 cm en el invierno de las regiones polares y sub-polares y 3 cm en la zona tropical durante la estación lluviosa. Los valores retenidos son típicos de un corte longitudinal entre Escandinavia y el Africa austral. Ellos permiten crear un modelo de las variaciones zonales y estacionales de la componente directa de la radiación solar por buen tiempo (cielo despejado).

Estudios más complejos incluirían el efecto de la nubosidad en la absorción de la radiación

directa y la dispersión multidireccional de la radiación difusa proveniente del cielo. Igualmente, esos estudios evaluarían el efecto de la reflexión múltiple en la variación de la radiación solar global (ver K. Y. Kondratyev [1969 y 1977]).

Esos factores, necesarios para efectuar las simulaciones locales, complicarían las comparaciones estacionales y latitudinales de la orientación de solana y umbría e introducirían una cantidad de efectos topográficos, geográficos y climáticos ligados a sitios particulares. En consecuencia, éste trabajo se limita al estudio de la radiación solar directa recibida al nivel del suelo, por tiempo sereno, sobre superficies inclinadas y orientadas, excluyendo el efecto de reflexión de las superficies contiguas, el efecto de sombra del relieve vecino y de las variaciones regionales del clima zonal medio.

Estas restricciones, por tiempo sereno, tienen muy pocas consecuencias puesto que la componente directa representa más del 80 por 100 de la radiación solar global. Además tendremos particularmente los valores de la radiación directa relativos a la superficies vecinas (identidad del lugar), para los cuales los efectos de los valores excluidos se compensan parcialmente, debido a las diversas combinaciones de inclinación y de orientación.

LA DISTRIBUCION DE LA RADIACION SOLAR DIRECTA DIARIA SOBRE SUPERFICIES NORMALES Y HORIZONTALES

La integración de los valores diarios de la radiación solar directa ha sido efectuada de la salida a la puesta del Sol con un intervalo de 6 minutos entre cada observación. La constatación solar utilizada indica un aporte energético instantáneo de 1.353 watts por metro cuadrado sobre una superficie normal a los rayos solares, en el límite de la atmósfera. Se trata de una media anual y su potencial varía, según las estaciones, en proporción inversa al cuadrado de la distancia Tierra-Sol. La intensidad diaria obtenida, es válida para todo el planeta ya que dicha distancia es prácticamente constante para todas las latitudes. Los valores de E_s aplicados a los ocho días considerados varían entre 1.309 $w \cdot m^{-2}$, el 21 de Junio, a 1.398 $w \cdot m^{-2}$, el 21 de Diciembre.

Es
Radiación solar en el límite de la atmósfera
sobre una superficie normal a los rayos solares en w.m⁻²

Fecha:	21 Dic.	6 Feb.	20 Mar.	4 Ma.	21 Jn.	7 Ag.	22 Sp.	5 Nv.
Es:	1.398	1.363	1.391	1.327	1.309	1.316	1.342	1.377
% de Is:	103,3	120,8	100,7	98,8	96,8	97,3	99,2	101,8
DEC:	-23,4°	-16,0°	0,0°	16,0°	23,4°	16,0°	0,0°	-16,0°

DEC: declinación del Sol sobre el plano ecuatorial (en grados).

Igualmente, esos datos son distribuidos para todo el año con un intervalo medio de 45,5 días que corresponden a las declinaciones simétricas del plano acuatorial terrestre sobre el plano de la eclíptica. La duración astronómica del día (periodo en el cual el Sol se encuentra encima del horizonte local) también es simétrica y varía de 0 (noche polar) a 24 horas (día polar), con una media de 12 horas en el ecuador y en los equinoccios.

La cantidad de radiación diaria recibida al nivel del suelo *sobre una superficie móvil* que se encuentra *constantemente perpendicular* a los rayos solares. (Eo: ver tabla 3), aumenta con la duración del día, pero disminuye en igual proporción debido a la absorción y a la reflexión de la atmósfera. La amplitud periódica estacional es máxima en las altas latitudes; en la región intertropical las diferencias estacionales dependen, sobre todo, de las condiciones de turbiedad atmosférica (espesor del agua precipitable y de la densidad de las partículas de polvo en suspensión). Las zonas templadas se reparten alternativamente los efectos astronómicos (duración del día) y climáticos (transparencia de la atmósfera).

En esta tabla distinguimos claramente que la absorción de la radiación solar depende de la masa atmosférica que atraviesa, cuando el curso del Sol roza el horizonte (60° Norte el 21 de Diciembre; 80° N el 20 de Marzo y el 22 de Septiembre). En cuanto a los valores de la altura del Sol ligeramente superiores, la fuerte disminución de la turbiedad atmosférica (T) compensa ampliamente el efecto precedente y en las latitudes polares y sub-polares vemos aparecer valores máximos comparables a los de las latitudes templadas y tropicales (45° N y 50° N el 21 de Diciembre; 70° N el 20 de Marzo; 80° N el 21 de Junio...) Asimismo, los coeficientes diarios medios de la transmisión de la radiación solar directa entre el límite de la atmósfera y el nivel del suelo, indican las variaciones estacionales independientes de la distancia Tierra-Sol. En las zonas templadas, generalmente, las pérdidas son mayores en invierno que en el verano, observándose un mínimo planetario en las regiones sub-polares a comienzos de la primavera. Ese coeficiente de transmisión, muy estable en la zona ecuatorial, varía de más en más hacia los trópicos, donde la alternancia de la estación seca y la estación húmeda es determinante.

Eo
Media diaria de la radiación solar directa recibida sobre una superficie normal
a los rayos solares por tiempo sereno

En w.m⁻²

Latitud:	80 N	70 N	60 N	50 N	45 N	40 N	35 N	30 N	25 N	20 N	10 N	0	20 S	40 S
21 Dic.:	0	0	370	530	570	495	565	600	540	540	495	580	605	590
20 Mar.:	450	760	700	605	630	655	580	595	610	525	525	576	563	605
21 Jun.:	635	535	575	525	555	565	570	600	515	565	545	535	435	485
22 Sep.:	420	535	510	565	500	450	540	590	500	560	565	570	515	635

SOLANA Y UMBRIA

DISTRIBUCION ESTACIONAL Y LATITUDINAL

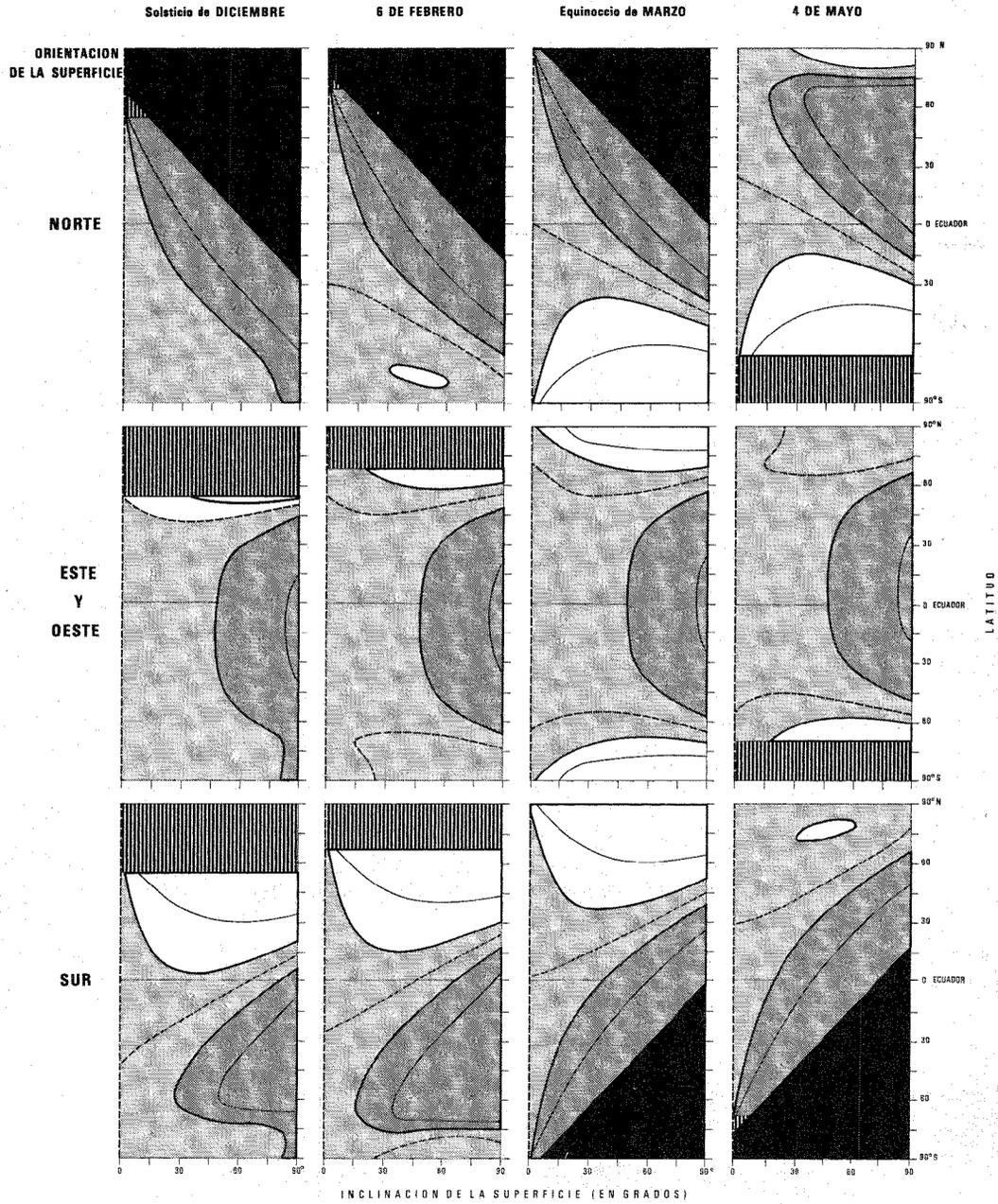


FIGURA 2

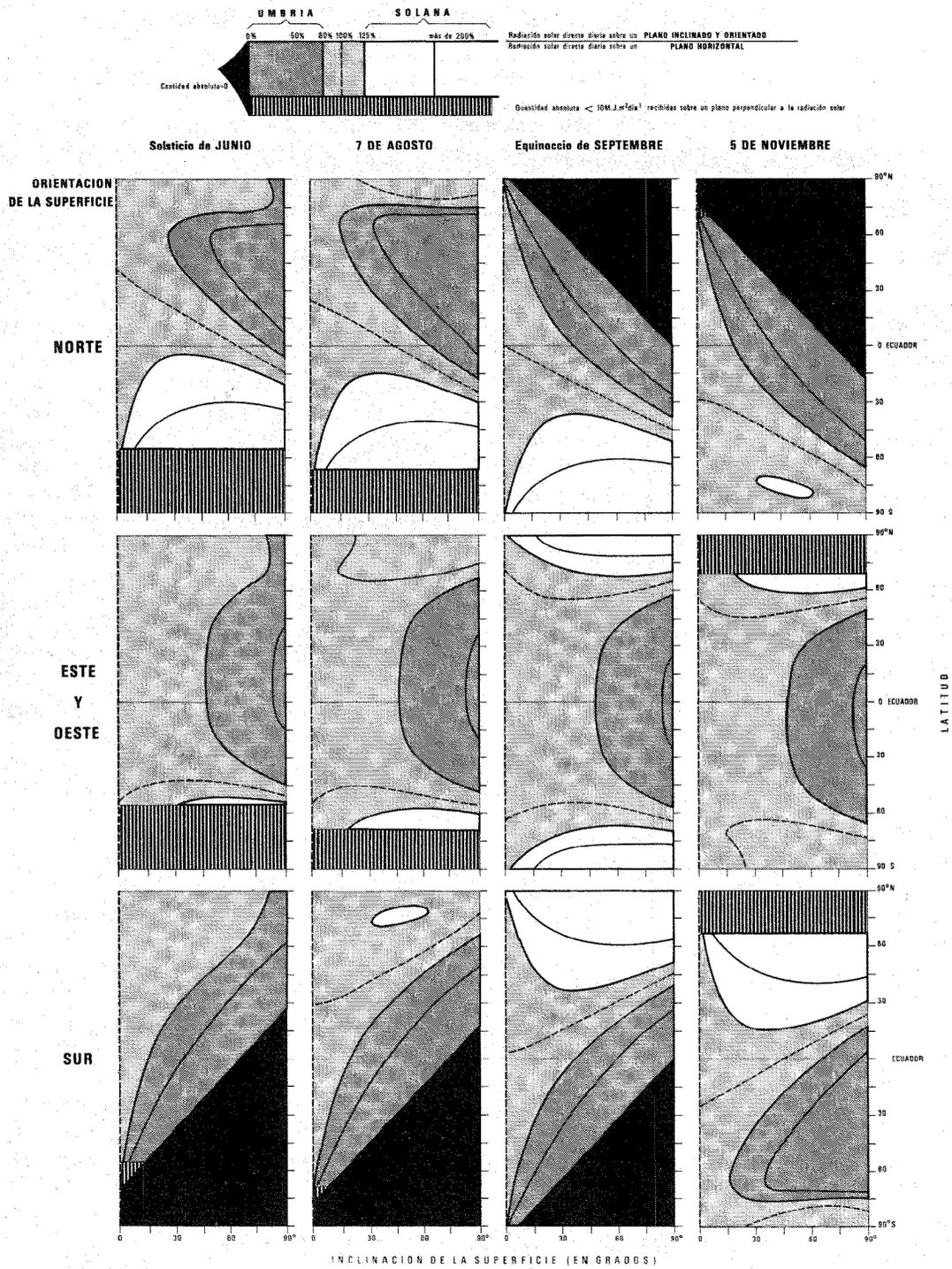


FIGURA 2 (Continuación)

Qo/Eo DIARIO

Porcentaje de la radiación solar directa normal diaria recibida, por tiempo sereno, sobre una superficie horizontal

Latitud:	80 N	70 N	60 N	50 N	45 N	40 N	35 N	30 N	25 N	20 N	10 N	0	20 S	40 S
21 Dic.:	0	0	8	22	27	34	40	45	50	56	64	69	74	67
20 Mar.:	13	24	36	48	52	56	61	65	67	71	74	75	70	56
21 Jun.:	41	46	57	66	68	71	72	73	75	74	72	70	56	34
22 Sep.:	15	26	38	49	54	60	62	65	69	70	73	74	71	56

La disminución de la densidad instantánea del flujo energético sobre una superficie horizontal es proporcional al coseno del ángulo de incidencia (complemento del ángulo formado por la altura del Sol), dando totales diarios más bajos que sobre las superficies normales (Qo: ver tabla 3) y allana una parte de las diferencias vinculadas a la duración del día.

Los valores relativos presentados más abajo fueron calculados gracias a las tablas 2 y 3, las cuales constituyen los puntos de referencia, a partir de los cuales las superficies orientadas serán comparadas.

La relación entre los planos horizontales y los normales varía entre el 0 por 100 y el 75 por 100 y expresado el resultado medio diario de la inclinación del curso del Sol sobre el horizonte local. El valor mínimo, que varía entre el 0 por 100 en las regiones polares, al 69 por 100 en el ecuador, se produce en el invierno (fecha variable según el hemisferio) y el máximo se presenta en el solsticio de verano, con pequeñas fluctuaciones planetarias (del 45 por 100 al 75 por 100). Las diferencias estacionales aumentan con la latitud hasta el círculo polar, disminuyendo ligeramente más lejos. La relación es cuasi simétrica en los dos hemisferios, con una diferencia de seis meses para los valores extremos.

LA DISTRIBUCION DE LA RADIA-CION SOLAR DIRECTA DIARIA RECI-BIDA SOBRE PLANOS ORIENTADOS

La cantidad de radiación solar directa que llega sobre una superficie orientada en un instante dado, es proporcional a la densidad del flujo energético sobre el plano normal, reduci-

da por el coseno del ángulo de incidencia de los rayos solares (ver ecuaciones 4 y 5). Sin embargo, la integración diaria se efectúa solamente para los momentos en que el Sol se sitúa, simultáneamente, encima del plano del horizonte local y de la superficie considerada (el ángulo de incidencia es inferior a 90°). Los cálculos han sido efectuados para todas las latitudes comprendidas entre los dos polos, con intervalos de 5°, para los declives comprendidos entre 0° (horizontales) y 90° (verticales), así como para los cuatro puntos cardinales (N, S, E y O) y correspondientes a las ocho fechas ya mencionadas. Para cada combinación de latitud y fecha, las intensidades de radiación obtenidas han sido puestas en relación con los valores diarios obtenidos a la horizontal. Esos coeficientes han sido notados e interpolados (gracias a un programa de isolíneas) con el fin de producir las figuras 1 y 2.

Los valores relativos retenidos excluyen los efectos de: la distancia Tierra-Sol, la atenuación atmosférica, la duración del día y la altura del Sol, con el propósito de remarcar los efectos de la inclinación y la orientación de los planos. Se obtienen coeficientes interpolables que permiten comparar las diversas combinaciones posibles, en un mismo sitio, independientemente de las condiciones geográficas, climáticas y estacionales. Asimismo, es posible efectuar comparaciones entre los lugares y las fechas sin considerar las condiciones climáticas. Luego, las intensidades absolutas han sido obtenidas del producto del coeficiente con la suma diaria de la radiación solar directa recibida sobre el plano horizontal.

Esta manera de proceder nos ha permitido generalizar y reducir la representación gráfica en nueve diagramas válidos para: todas las latitudes, todas las inclinaciones, los cuatro pun-

tos cardinales y los ocho días típicos considerados. Podríamos aprovechar aún la evidente simetría de todos esos valores para reducir la figura 2 a la mitad. Conservamos la versión actual por ser más estética.

Los valores relativos no tienen sentido cuando el potencial energético es muy bajo. Para que las diferencias entre las orientaciones, en valor absoluto, sean significativas, consideramos el aporte diario de 10 MJ. m^{-2} sobre un plano normal, como el valor mínimo. La aplicación de ésta regla explica la exclusión de las zonas polares nórdicas, más allá del paralelo 56 el 21 de Diciembre y arriba del paralelo 68 el 6 de Febrero y el 5 de Noviembre. La exclusión es simétrica en el hemisferio austral, con una diferencia de seis meses: más allá del paralelo 56 el 21 de Junio y del Paralelo 68 el 4 de Mayo y el 7 de Agosto. Este valor mínimo es rebasado en todas las latitudes en el momento equinocial.

La distribución de los cocientes diarios entre la intensidad de la radiación directa sobre los planos orientados y la horizontal, es simétrica para la orientación Este y Oeste; además, se produce un efecto de espejo de esos cocientes. Por ejemplo: las laderas del hemisferio norte orientadas hacia el Sur reciben, el 21 de Junio, una misma fracción de esa radiación, con respecto a la horizontal, que los declives de igual ángulo del hemisferio austral con vista al Norte, el 21 de Diciembre. Igualmente, éste efecto se lo encuentra durante el ciclo anual, en los días de igual declinación: las situaciones del 6 de Febrero y del 5 de Noviembre son idénticas y corresponden a las de 4 de Mayo y del 7 de Agosto (declinaciones negativas y de la misma amplitud), con la condición de invertir los hemisferios y las orientaciones (ver figura 1).

Los cálculos se efectúan de la siguiente manera:

Un plano de orientación Norte con una inclinación de 15° y situado a 20 grados de latitud Norte recibirá, el 6 de Febrero y el 5 de

Noviembre, el 75 por 100 de la radiación solar directa diaria recibida a la horizontal. Esta proporción es idéntica para una superficie de igual declive orientada hacia el Sur y a 20 grados de latitud Sur, el 4 de Mayo y el 7 de Agosto. La tabla 3 indica las siguientes intensidades recibidas sobre un plano horizontal y otro inclinado de 15° , correspondientes a las latitudes y fechas concernientes (Q_0 en $\text{MJ. m}^{-2}. \text{día}^{-1}$).

Evidentemente, cuando los valores reales de Q_0 son disponibles, se puede estimar directamente la radiación sobre los planos inclinados.

SOLANAS Y UMBRIAS (Descripción de los gráficos 1 y 2)

Los planos inclinados que benefician de una radiación solar más elevada que los planos horizontales adyacentes están en situación de solana y los que reciben significativamente menos, están en situación de umbría. Después de haber pasado el límite absoluto de 10 MJ. m^{-2} sobre la normal, una diferencia relativa del 25 po 100 entre el plano inclinado y la horizontal es considerada suficiente para poder fijar los límites.

Una superficie inclinada es llamada umbría, cuando ella recibe menos del 80 por 100 de la radiación solar directa diaria que llega sobre la horizontal y es llamada solana, cuando dicha proporción excede del 125 por 100. Se escogieron esos coeficientes con el fin de respetar la simetría de las relaciones inversas: $1/0,8 = 1,25$. Las posiciones concernientes están identificadas en los gráficos 1 y 2 y los planos que durante todo el día permanecen en la sombra, es decir, se encuentran en posición de umbría absoluta, están identificados aparte.

Las solanas son raras en la zona intertropical, donde la horizontal disfruta de un constante privilegio. Se trata más bien de un fenómeno propio de las zonas templadas y polares

Latitud	Fecha	Horizontal	declive
20° Norte	6 de Febrero	14,1	75 % = 10,6
20° Norte	5 de Noviembre	13,4	10,0
20° Sur	4 de Mayo	12,8	9,6
20° Sur	7 de Agosto	11,6	8,7

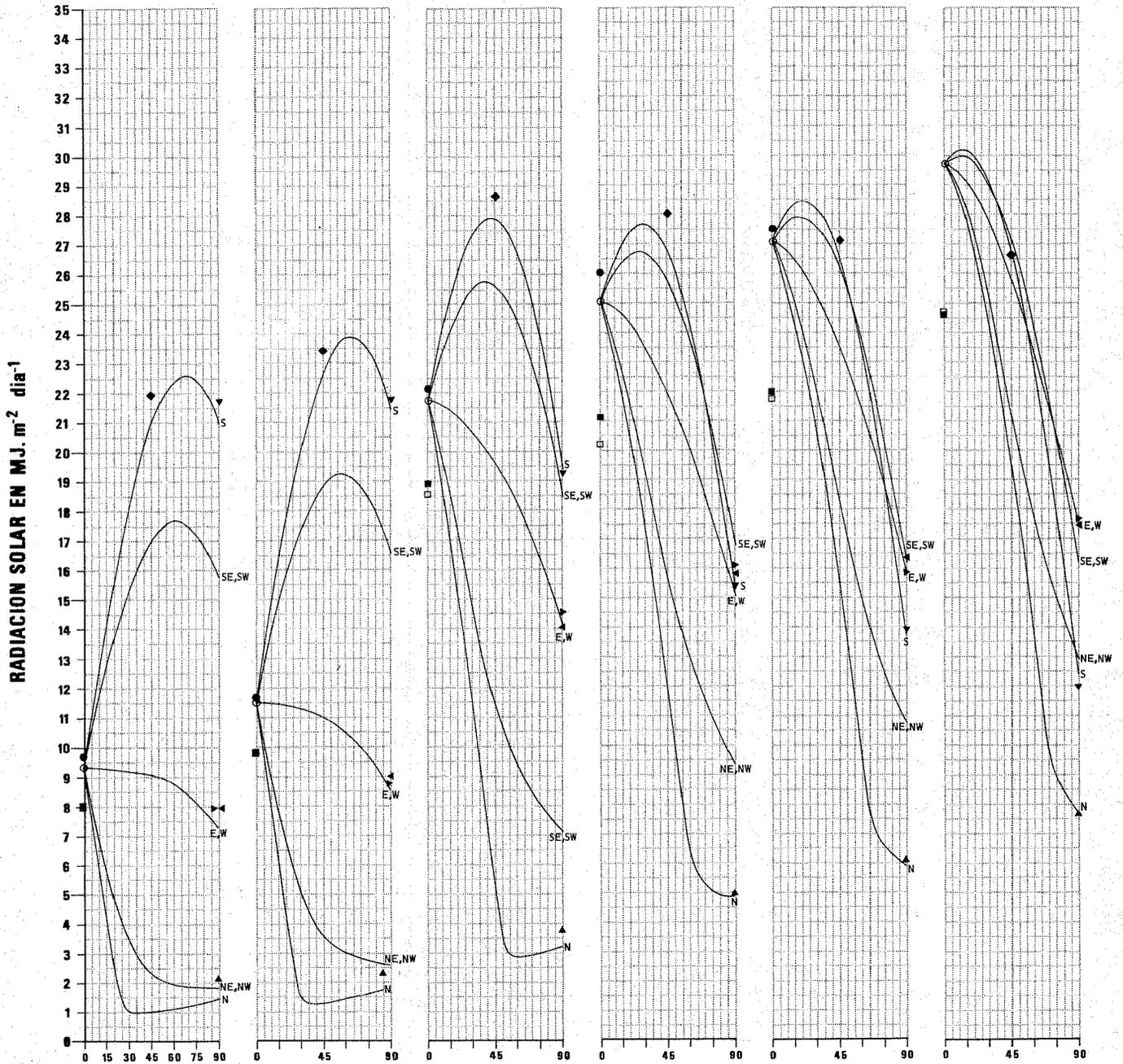
($\text{MJ. m}^{-2}. \text{día}^{-1}$)

RADIACION SOLAR GLOBAL DIARIA

CARPENTERAS 44°01' Norte

GLOBAL=DIRECTA+DIFUSA ANISOTROPICA+DIFUSA REFLEJADA

GLOBAL CALCULADA ○
DIRECTA CALCULADA □



PENDIENTES EN GRADOS

FECHAS
PARAMETROS

27/01/80	11/02/80	30/03/80	25/04/80	10/05/80	1/06/80
$\beta = 0,041$	$\beta = 0,039$	$\beta = 0,05$	$\beta = 0,10$	$\beta = 0,105$	$\beta = 0,066$
$\omega = 0,65$	$\omega = 1,0$	$\omega = 0,80$	$\omega = 0,91$	$\omega = 0,90$	$\omega = 1,5$
$\alpha = 0,18$	$\alpha = 0,20$				

β = COEFICIENTE DE TURBIDIDAD

ω = ACUA CONDENSABLE EN cm

α = ALBEDO

FIGURA 3

POR BUEN TIEMPO, SOBRE SUPERFICIES ORIENTADAS

CARPENTERAS (Continuacion)

GLOBAL: MEDIDA HORIZONTAL ● GLOBAL MEDIDA { VERTICAL SUR ▼ VERTICAL ESTE ► 45° SUR ◆ }
 DIRECTA: MEDIDA HORIZONTAL ■ { VERTICAL NORTE ▲ VERTICAL OESTE ◄ }

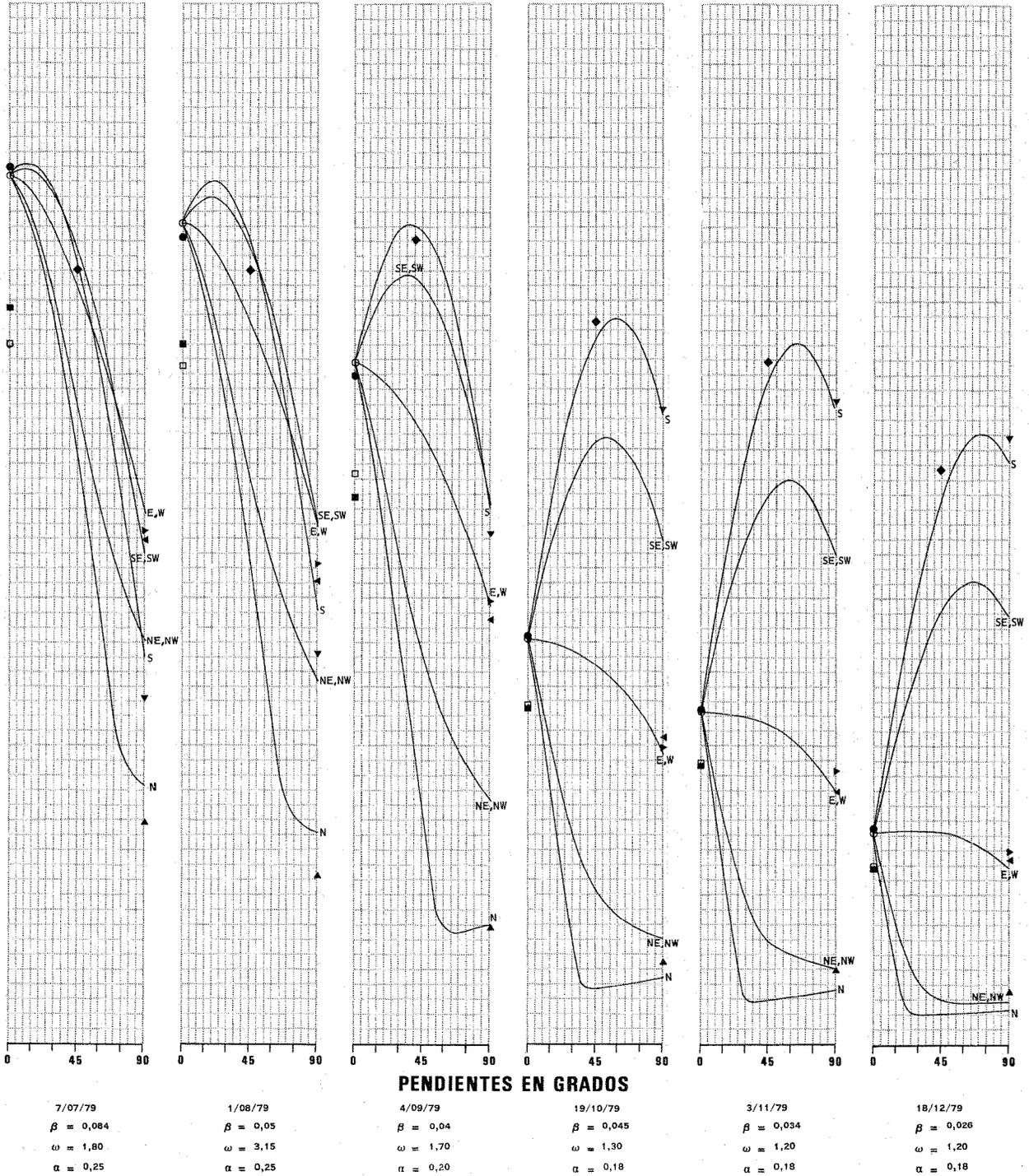


FIGURA 3 (Continuación)

que favorece, sobre todo, las superficies orientadas hacia el Sur, en el hemisferio Norte y las orientadas hacia el Norte, en el hemisferio Sur.

Los cocientes aumentan generalmente con la latitud y tienen un valor máximo entre el otoño y la primavera para las pendientes medias. Sobre los gráficos vemos aparecer las solanas al final del verano local y extenderse rápidamente hasta el equinoccio correspondiente. Esta zona privilegiada se desplaza hacia los trópicos en invierno, mientras que en las regiones polares la radiación deviene nula. Luego, ella retoma la posición del equinoccio de primavera y se reabsorbe a comienzos del verano.

Solanas secundarias aparecen sobre las laderas (fuertes declives) Este y Oeste de las regiones polares nórdicas, desde el mes de Febrero hasta mediados de Abril y de los comienzos de Septiembre hasta mediados de Noviembre. Las mismas orientaciones son también favorecidas en el antártico, desde el mes de Marzo hasta mediados de Mayo y de mediados del mes de Julio hasta mediados de Octubre.

En la zona intertropical, las laderas de fuerte inclinación están generalmente en situación de umbría. En el verano de las regiones polares los fuertes declives aprovechan del día permanente, igualándose los cocientes con la horizontal, pero en el invierno la radiación absoluta cae bajo el límite significativo.

Entre los trópicos y las latitudes medias, las orientaciones Este y Oeste tienen radiaciones selectivas bastante constantes durante todo el año y los fuertes declives están en situación de umbría. En las laderas orientadas hacia el Norte (hemisferio Norte) o hacia el Sur (hemisferio Sur), la umbría es rigurosa sobre los

fuertes declives de las regiones templadas en verano y sobre los declives medios de las regiones tropicales, durante el invierno. Incluso en las pendientes con vista al Sur en el hemisferio Norte (viceversa en el hemisferio Sur) vemos aparecer zonas umbrías en verano.

Estamos lejos de la simple dualidad Norte-Sur mencionada al principio de éste artículo y debemos concluir diciendo que la realidad es mucho más compleja. Además, es necesario diferenciar la importancia dada a éstos conceptos en función de los otros elementos del clima y de las aplicaciones pretendidas. Por ejemplo en agricultura, donde el interés es más grande en el periodo de crecimiento, pudiendo ser éste cálido o húmedo, según los climas. En éste aspecto, es interesante remarcar un máximo de oposición entre las orientaciones de muy poco declive, máximo que sube de los trópicos hacia las regiones templadas, entre el fin del invierno y comienzos del verano y que coinciden con la reanudación del crecimiento de la vegetación. Sería aun más interesante de sobreponer los estados de transición de ciertos límites térmicos o hídricos con los gráficos presentados.

Modelos de simulación más completos donde interviene la radiación solar global (suma de la radiación directa, de la difusa anisotrópica y de la difusa reflejada), han confirmado la validez y permanencia de las diferencias observadas por los coeficientes de la radiación directa utilizados.

El modelo, aplicado en Carpentras (Francia) en días con cielo despejado, da evaluaciones satisfactorias con respecto a los valores efectivos medio sobre planos inclinados (ver gráfico 3) y confirma las conclusiones obtenidas de los tres gráficos aquí presentados.

TABLA 1

COEFICIENTES RETENIDOS PARA CARACTERIZAR EL ESTADO DE LA ATMOSFERA

A) Coeficiente de turbiedad atmosférica (β)

<i>Latitud</i>	<i>21 Dic.</i>	<i>6 Feb.</i>	<i>20 Mar.</i>	<i>4 Mayo</i>	<i>21 Junio</i>	<i>7 Ags.</i>	<i>22 Sep.</i>	<i>5 Nov.</i>
80 Norte	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05
70 Norte	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05
60 Norte	0,05	0,05	0,05	0,15	0,10	0,10	0,10	0,05
50 Norte	0,05	0,05	0,10	0,20	0,15	0,15	0,10	0,05
45 Norte	0,05	0,05	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10
40 Norte	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20	0,15	0,10
35 Norte	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,15
30 Norte	0,10	0,10	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15
25 Norte	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15
20 Norte	0,15	0,15	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15
10 Norte	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Ecuador	0,15	0,20	0,15	0,15	0,15	0,20	0,15	0,15
20 Sur	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,15
40 Sur	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15

B) Espesor del agua precipitable (ω)

<i>Latitud</i>	<i>21 Dic.</i>	<i>6 Feb.</i>	<i>20 Mar.</i>	<i>4 Mayo</i>	<i>21 Junio</i>	<i>7 Ags.</i>	<i>22 Sep.</i>	<i>5 Nov.</i>
80 Norte	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5
70 Norte	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,5	1,5	1,0
60 Norte	0,5	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	1,5	1,0
50 Norte	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	2,0	1,5
45 Norte	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	1,5
40 Norte	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	1,5
35 Norte	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,0
30 Norte	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0
25 Norte	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	1,0
20 Norte	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	3,0	3,0	2,0
10 Norte	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	3,0	2,5
Ecuador	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0	3,0
20 Sur	2,0	3,0	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	2,0
40 Sur	2,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5

TABLA 2

Eo

**Radiación solar directa diaria al nivel del suelo,
por buen tiempo, sobre una superficie normal a los rayos solares (MJ.m⁻²)**

<i>Latitud</i>	<i>21 Dic.</i>	<i>6 Feb.</i>	<i>20 Mar.</i>	<i>4 Mayo</i>	<i>21 Junio</i>	<i>7 Ags.</i>	<i>22 Sep.</i>	<i>5 Nov.</i>
80 Norte	0,0	0,0	19,4	46,2	54,8	53,2	18,2	0,0
70 Norte	0,0	9,0	32,8	38,9	46,4	41,8	23,2	4,0
60 Norte	7,3	15,9	30,3	29,8	38,3	32,1	22,1	13,8
50 Norte	15,	21,2	26,2	25,0	30,5	26,9	24,3	19,5
45 Norte	17,6	22,7	27,3	29,6	30,7	27,4	21,6	17,8
40 Norte	16,4	21,4	28,2	29,5	30,1	24,0	19,5	20,0
35 Norte	19,6	23,3	25,1	29,3	29,6	27,2	23,3	19,2
30 Norte	21,8	24,9	25,7	29,0	29,9	28,6	25,5	20,8
25 Norte	20,2	22,7	26,3	25,4	25,1	23,6	21,5	22,2
20 Norte	21,0	23,0	22,7	24,2	26,9	25,6	24,1	22,1
10 Norte	20,3	21,4	22,7	25,3	24,8	24,8	24,5	23,6
Ecuador	25,0	22,5	24,9	23,9	23,1	21,2	24,6	24,8
20 Sur	28,8	26,9	24,3	21,1	17,0	18,8	22,3	27,6
40 Sur	31,4	28,6	26,2	19,0	16,1	19,9	27,4	29,4

TABLA 3

**Radiación solar directa diaria al nivel del suelo, por buen tiempo,
sobre una superficie horizontal (MJ. m⁻²)**

<i>Latitud</i>	<i>21 Dic.</i>	<i>6 Feb.</i>	<i>20 Mar.</i>	<i>4 Mayo</i>	<i>21 Junio</i>	<i>7 Ags.</i>	<i>22 Sep.</i>	<i>5 Nov.</i>
80 Norte	0,0	0,0	2,5	14,5	22,3	16,1	2,5	0,0
70 Norte	0,0	0,5	8,0	16,4	21,3	17,1	6,0	0,2
60 Norte	0,6	2,9	11,0	16,0	21,8	16,8	8,4	2,4
50 Norte	3,2	6,5	12,5	15,8	20,0	16,7	11,8	5,8
45 Norte	4,8	8,2	14,3	19,2	20,9	17,9	11,7	6,5
40 Norte	5,6	9,1	15,9	19,9	21,2	16,6	11,6	8,3
35 Norte	7,7	11,0	15,4	20,5	21,2	19,1	14,5	9,1
30 Norte	9,7	12,9	16,7	20,8	21,8	20,5	16,6	10,9
25 Norte	10,2	13,0	17,7	18,8	18,8	17,6	14,9	12,6
20 Norte	11,6	14,1	16,2	18,2	19,9	18,9	17,0	13,4
10 Norte	13,0	14,7	16,9	18,7	17,9	18,3	18,0	15,9
Ecuador	17,2	16,4	18,6	17,1	15,9	15,4	18,3	17,8
20 Sur	21,2	19,9	17,0	12,8	9,5	11,6	15,8	20,4
40 Sur	21,1	19,3	14,7	7,8	5,5	8,2	15,3	19,9

BIBLIOGRAFIA

- BENEVENTE, E. (1926): *Le climat des Alpes françaises*. ONM, Paris, 435 p.
- BERNIER, R. (1981): *Distribution géographique, variation saisonnière et redéfinition des expositions d'ubac et d'adret*. Mémoire de recherche, Département de géographie, Université Laval, Québec, 142 p.
- DOGNIAUX, R. (1970): *Variations qualitatives et quantitatives des composantes du rayonnement solaire sur une surface horizontale par ciel serein en fonction du trouble atmosphérique*. Institut Royal Météorologique de Belgique, Publication n.º 62, Série B, Bruxelles.
- DOGNIAUX, R. (1975): *Variations géographiques et climatologiques des expositions énergétiques solaires sur des surfaces réceptrices horizontales et verticales*. Institut Royal Météorologique de Belgique, Publication n.º 38, Série B Miscelanea, Bruxelles.
- DOGNIAUX, R. et LEMOINE, M. (1976): *Programme de calcul des éclairagements solaires, énergétiques et lumineux de surfaces orientées et inclinées*. Institut Royal Météorologique de Belgique, Publication n.º 14, Série C Miscelanea, Bruxelles.
- GUEYMARD, C. et BILGEN, E. (1978): *Éléments d'analyse du rayonnement solaire et son estimation au Québec*. CINEP, Montréal.
- HUFTY, A. et THERIAULT, M. (1983): *Atlas d'abaques pour le calcul du rayonnement solaire par beau temps*. Notes et documents de recherche du Département de géographie., Université Laval, Québec, 138 p.
- KONDRATEV, K.Y. (1969): *Radiation in the Atmosphere*. Academic Press, New York.
- KONDRATYEV, K.Y. and FEDEROVA, M.P. (1977): *Radiation Regime of Inclined Surfaces*. World Meteorological Organization, *Technical note n.º 152*, Genève, 82 p.
- PERRIN de BRICHAMBAULT, C. (1963): *Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels*. Gauthier-Villars, Paris, 300 p.
- PERRIN de BRICHAMBAULT, C. et LAMBOLLEY, G. (1960): *Le rayonnement solaire au sol et ses mesures*. *Cahiers AFEDES, n.º 1*.
- ROBINSON, M. (1966): *Solar Radiation*. Elsevier Publishing Company.
- TERJUNG, W. H. and O'ROURKE, P. A. (1983): *A Simulation of Surface Temperature for a North-South Latitudinal Transect during the Winter Solstice*. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Ser. B, Vol. 32* pp. 59-76.
- TERJUNG, W. H. and O'ROURKE, P. A. (1983): *Winter Energy Budget Simulation for a Latitudinal Transect Along the East Coast of the Americas*. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Ser. B, vol. 32*, pp. 187-199.
- VALKO, P. (1980): *Some empirical Properties of Solar Radiation and Related Parameters*, Swiss Meteorological Institut, Zurich.