

APORTE A LA CLIMATOLOGIA Y CLIMAECOLOGIA DE CHILE. I: RADIACION POTENCIAL.

Anton Huber

Instituto de Geología y Geografía Universidad Austral de Chile



1. RESUMEN

Mediante cálculos basados en principios astronómicos se cartografearon la distribución de la radiación potencial anual y por estaciones en Chile.

2. INTRODUCCION

El buen conocimiento de las características climáticas de un país son a veces antecedentes de importancia, sobre los cuales deberían apoyarse muchas decisiones de política agrícola y otras. Lamentablemente en los países subdesarrollados, se carece de estos conocimientos tan importantes para una planificación más adecuada en los diversos campos que quisieran hacer uso de ellos.

Chile es un país que se ha preocupado bastante en lo que al conocimiento de su climatología se refiere, pero su extenso y a veces muy poco accesible territorio, y la distribución heterogénea de su población, hacen aún más difícil la toma de registros climatológicos que siempre van acompañados por elevados costos.

La finalidad de esta primera parte del trabajo y las siguientes, son cartografiar y analizar los principales antecedentes climatológicos registrados en Chile, y complementarlos con otros, obtenidos por deducciones y/o cálculos teóricos para aplicarlos posteriormente en la determinación de la productividad de la vegetación natural de Chile.

3. RADIACION SOLAR

La radiación solar es prácticamente la única fuente que abastece de energía a la superficie terrestre. Este antecedente y su gran importancia sobre los seres vivos obliga a dedicarle una atención especial.

La energía entregada por la radiación solar a la superficie de la tierra es el factor primario en la determinación de su balance energético. Esto hace que su distribución es espacial, como temporal, sean antecedentes muy requeridos. Por lógica y costo, no es posible mediante el uso de instrumento, de

terminar la energía solar que llega a cada uno de los lugares deseados. Es necesario, por tanto, recurrir a los cálculos teóricos para conocer en la mayoría de las veces en forma aproximada, la radiación que debería llegar a un lugar determinado.

3.1. Radiación potencial.

Hay mucha literatura disponible, que nos proporcionan los antecedentes necesarios, para calcular la radiación solar directa, que puede llegar a la superficie con orientación e inclinación conocida sin considerar el efecto que ejerce la atmósfera sobre ella, pero esta radiación dista mucho de la que efectivamente llega. El sin número de influencias que ejerce la atmósfera sobre la radiación solar incidente, hace muy difícil su cálculo teórico, por lo tanto, nos debemos conformar con valores obtenidos por cálculos basados en principios astronómicos y ver posteriormente como corregirlos al considerar la influencia de la atmósfera sobre ella.

Principios usados para el cálculo de la radiación potencial: Se usaron las deducciones teóricas de Buffo et al (1973), que calculó la distribución de la radiación potencial que debería llegar a una pendiente cualesquiera, ubicada a 1500 m.s.n.m., sufriendo a través del recorrido por la atmósfera una extinción de un 10%.

En la figura 1, la superficie ejemplo que se usó para calcular la radiación potencial que llega sobre ella, está ubicada en el hemisferio norte. El sol tiene una posición perpendicular sobre el punto p , que tiene una longitud lq y una declinación δ . La superficie ejemplo está ubicada en el punto r con una latitud θ y una longitud mq . La longitud mq tiene un ángulo horario h del meridiano lq . La superficie ejemplo $cpqi$

(Figura 1 arriba izquierda) tiene una inclinación α con respecto a la horizontal jo , un ángulo \varnothing de la vertical cd , un ángulo azimutal β con respecto al norte no .

Los rayos solares inciden sobre la superficie ejemplo en el punto r . El ángulo entre la radiación solar y la horizontal, la altura del sol sok , recibe la denominación A . A esta determinada por:

$\sin A = \sin \varnothing \sin \xi + \cos \varnothing \cos \xi \cos h$
 y el azimut AZ , calculado desde el norte por:

$$AZ = Z + 90^\circ$$

Z es el ángulo azimutal medido desde el oeste entonces $\sin AZ = -\cos \xi \sin h / \cos A$ por lo tanto, la intensidad de la radiación I que llega a la superficie $cfpi$ es:

$$I = I_0 P \frac{1}{\cos A} \cdot \sin \varnothing$$

donde $\sin \varnothing = \sin A \cos \alpha - \cos A \sin \alpha \sin (Z-B)$

I_0 es la intensidad de la radiación solar que llega en la unidad de tiempo de 1 minuto en forma perpendicular a la superficie exterior de la atmósfera (constante solar = 1,95 cal/cm²min).

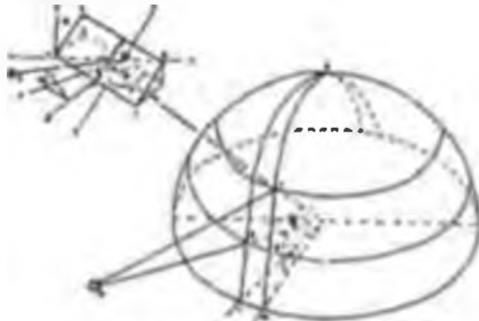


Fig. 1. Representación gráfica de los antecedentes usados en el cálculo teórico de la radiación potencial.

Los valores calculados para la radiación potencial que deben llegar a la superficie horizontal, ubicada a una determinada latitud y a 1.500 m.s.n.m. según las deducciones teóricas de Buffo et al (1973) y graficadas en la figura 2, deben ser corregidas cuando la superficie horizontal por considerar está ubicada a otra altura.

Careciéndose de antecedentes específicos para esta consideración con respecto a Chile, se usaron estudios de Steinhäuser (1939) para determinar la influencia de la atmósfera sola sobre la radiación solar figura 3. Con este antecedente se puede corregir (aumentando o disminuyendo los valores originales

de la radiación potencial a 1.500 m.s.n.m., según si la superficie por considerar está por sobre o debajo de esta altura) los valores extraídos de la figura 2.

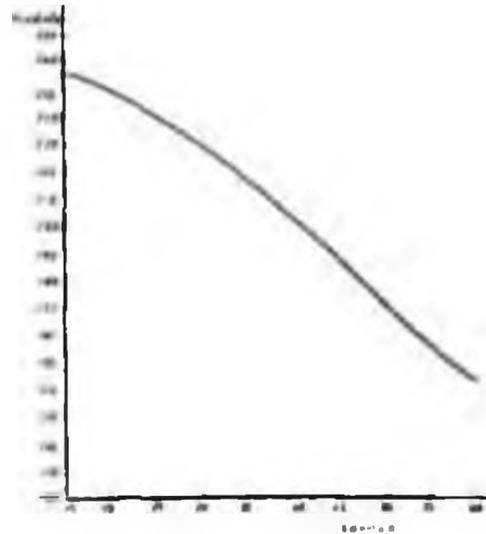


Fig. 2. Radiación potencial en Kcal/cm² que puede recibir una superficie horizontal en diferentes latitudes a 1.500 m. s.n.m.

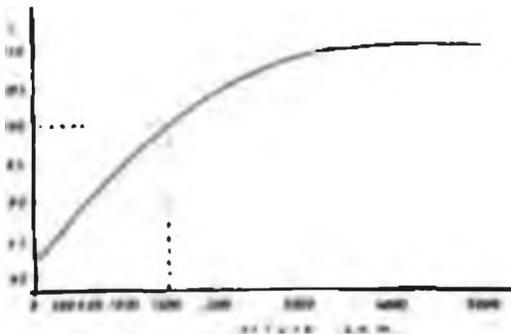


Fig. 3. Corrección en porcentajes que se debe hacer a la radiación potencial, obtenida de la Fig. 1 cuando ésta no se encuentra a 1.500 m.s.n.m.

3.2. Distribución de la radiación potencial en Chile.

3.2.1. Distribución de la radiación potencial anual en Chile.

Sobre un mapa topográfico con curvas de nivel de 300, 600, 1000, 1500, 2000, 3000 y 4000 m. se ubicó un reticulado de 15 km de arista. Para cada vértice de este reticulado se calculó la radiación potencial anual que

debería llegar a ese punto, considerándose como factores reguladores la latitud y la altitud. Al unir los puntos, con los valores anuales iguales de la radiación potencial, mapa 1, se puede observar que las isolneas se desplazan casi todas en forma bastante paralela a la costa, sólo entre las latitudes 46° a 56°S se encuentran algunas excepciones. Este ordenamiento de costa a cordillera era de esperarse, ya que la radiación potencial está influenciada, entre otros factores, por la altura sobre el nivel del mar. Esta dependencia y la separación por casi 39° de latitud entre el extremo norte y sur de Chile continental, permiten la existencia de una radiación potencial máxima de 270 Kcal/cm² año en la alta cordillera del norte y de solo 130 Kcal/cm² año en las pampas de poca altura en el sur de Chile.

Las isolneas de la radiación potencial, con valores ascendentes de Este a Oeste en el litoral del norte de Chile (18°S-26°S), tienen una separación muy pequeña, debido al fuerte ascenso del cordón montañoso que emerge del mar, alcanzando, rápidamente, alturas superiores de 1.500 m.s.n.m. Recién al llegar al plateau desértico, las isolneas tienen una mayor separación. En la Cordillera de los Andes, con alturas superiores a 3.000 m, las isolneas de la radiación potencial alcanzan sus valores más altos.

Entre los 33 y 46°S, las isolneas siguen el recorrido de las curvas de nivel, alcanzando en la cadena montañosa de Los Andes los valores más altos y sus separaciones más pequeñas.

En latitudes superiores a los 46°S la topografía existente de la zona permite una dis-

tribución más pareja de la radiación potencial.

Hasta ahora, siempre se ha desestimado la exposición de la superficie para determinar la radiación potencial que puede llegar sobre ella, pero como este es un factor de primaria importancia en la distribución cuantitativa, es ineludible su consideración; por tal motivo, se agregan las figuras del 4 al 12, que permiten corregir los valores primarios de la radiación potencial, extraídos de la figura 2, determinados según latitud y corregidos según la altitud con ayuda de la figura 3.

Conocida la radiación potencial de una superficie según la latitud y altitud se determina ahora su orientación e inclinación. Posteriormente se ubica la figura (4 al 12) que incluye la latitud de la superficie (*). Encontrada ésta se ubica en su abscisa la orientación de la superficie, y donde la proyección vertical de ésta corta la curva de la inclinación determinada para la misma superficie, se traza una horizontal que debe cortar las ordenadas. En esta intersección quedará determinado un valor porcentual que se multiplicará por el valor de la radiación potencial, anteriormente determinada, según latitud y altitud. El valor obtenido, será ahora la cantidad de la radiación potencial anual que debe llegar a una superficie cualquiera, considerando los factores de latitud altitud y exposición que la determinan.

3.2.2 Distribución por estaciones de la radiación potencial en Chile.

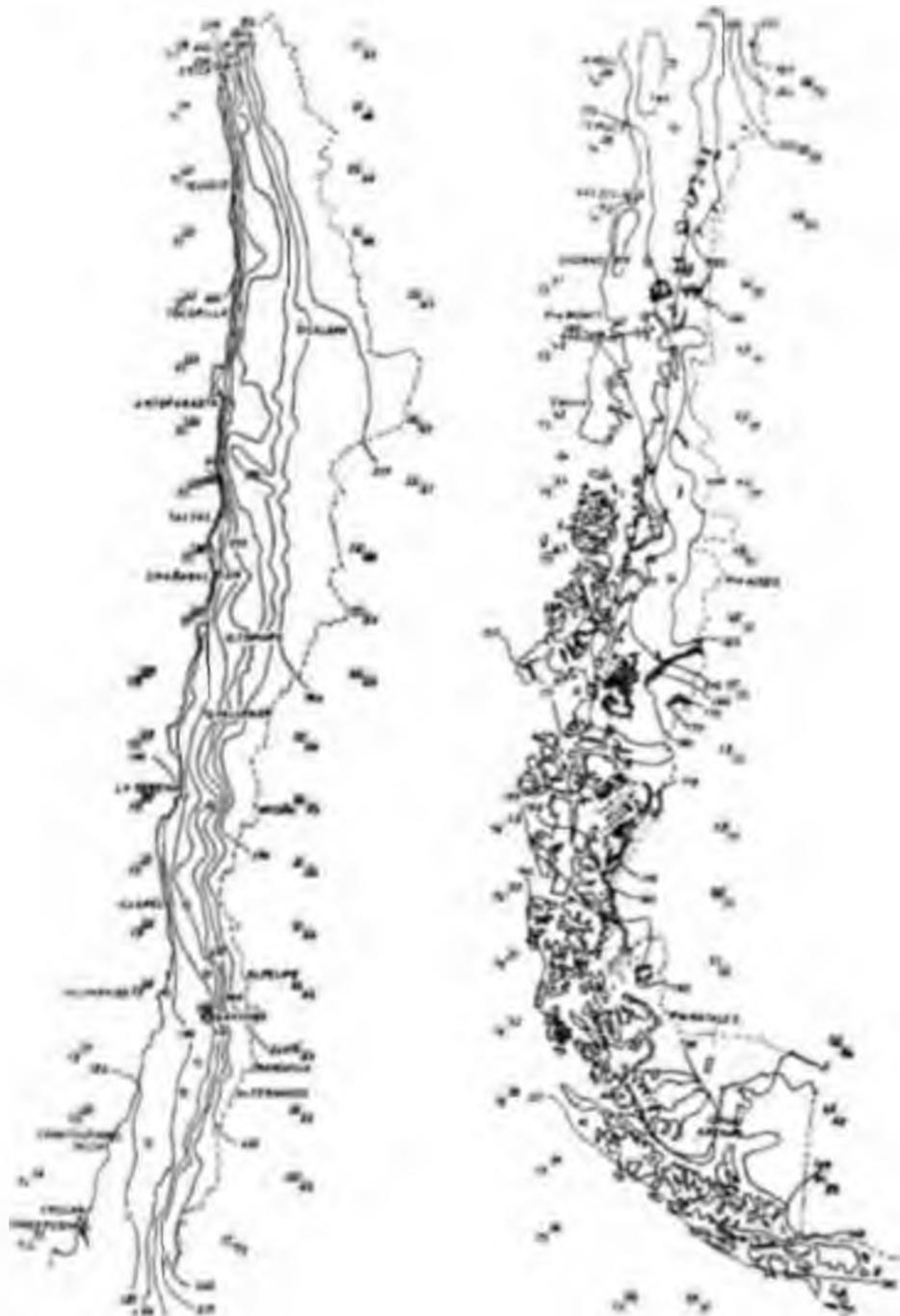
Para calcular la radiación potencial por estación no se usaron los períodos tradicionales, porque en este caso, las estaciones de primavera y verano, y las de otoño e invierno, recibirían igual cantidad de radiación potencial (Heyne 1962). Por ello, se consideró como estación de verano —trimestre de verano— el trimestre ubicado en forma simétrica al día en el cual el sol alcanza su mayor altura en el cenit (7.11-3.2). En forma análoga se hizo la determinación del trimestre de invierno, considerándolo simétrico al día, en el cual el sol alcanza su menor altura en el cenit (5.5-7.8.).

La radiación potencial que debe recibir una superficie para los trimestres de primavera (8.8-6.11) y otoño (4.2-4.5), bajo estas consideraciones serían iguales.

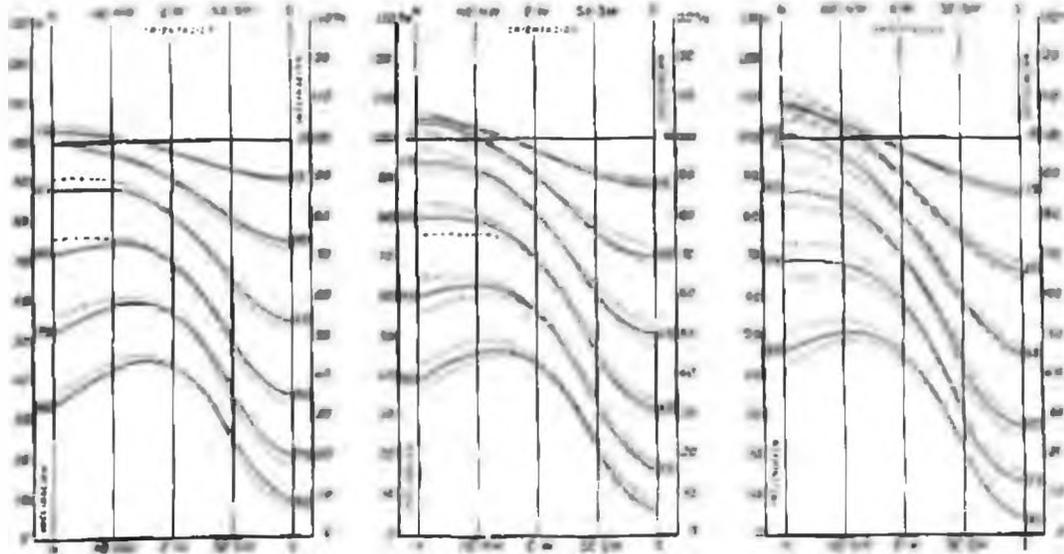
Aplicándose procedimientos similares a los que se usaron para calcular la cantidad de radiación potencial que llega en un año a una superficie horizontal, se calculó la radiación potencial que debe llegar para cada latitud, a una superficie horizontal para el

(*) Las líneas continuas de las curvas que se deben considerar para inclinaciones de 15, 30, 45, 60, 75 y 90°, en las figuras 5 al 10, sirven sólo para corregir la radiación potencial, cuando la superficie por considerar está justo en los 15, 20, 25, 30° etc. grados de latitud sur —latitudes guía—. Para corregir la radiación potencial de superficies, con latitudes de hasta 2,5° por debajo o por encima de las latitudes guía, hay que interpolar los espacios que quedan delimitados por la línea discontinua y la continua correspondiente.

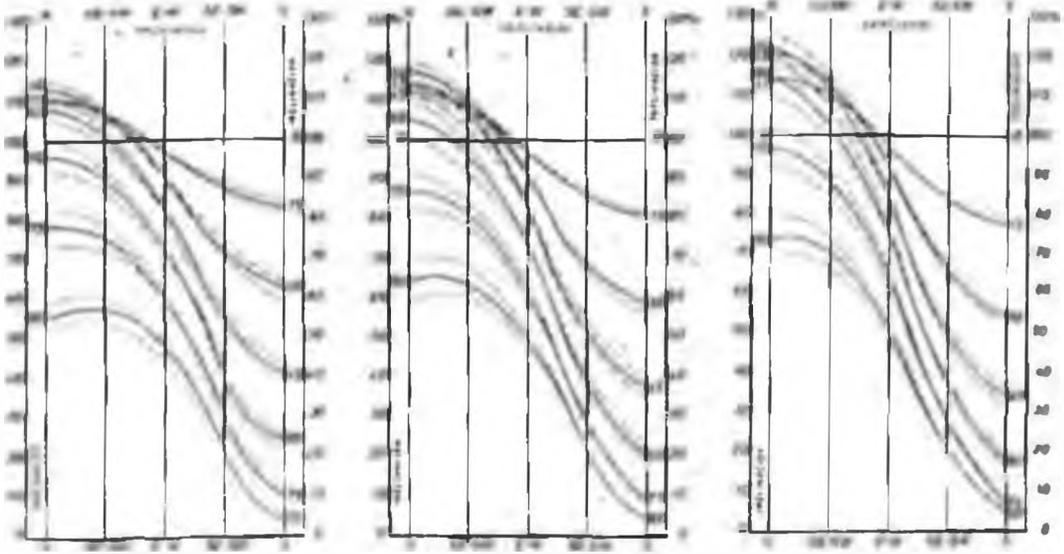
El espacio ubicado por encima de la línea continua y delimitada por la discontinua correspondiente ubicada en la orientación Norte, y el espacio ubicado por debajo de la línea continua y delimitada por la línea discontinua correspondiente en la orientación Sur de las figuras, deben ser usadas para la interpolación, cuando la superficie por considerar, tenga una latitud de hasta 2,5° mayor que las latitudes guía. El espacio opuesto, delimitado por la misma línea continua y la otra discontinua correspondiente, se usará para la interpolación, cuando la superficie por considerar tenga una latitud de hasta 2,5° más baja que las latitudes guía.



Mapa 1. Distribución promedio anual de la radiación potencial en kcal/cm² que llega a una superficie horizontal en Chile.



- Fig. 4. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie de orientación e inclinación conocida, a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 15 hasta 17,5°S.
- Fig. 5. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie con orientación e inclinación conocida, a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 17,5 hasta 22,5°S.
- Fig. 6. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie con orientación e inclinación conocida, a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 22,5 hasta 27,5°S.



- Fig. 7. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie con orientación e inclinación conocida, a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 27,5 hasta 32,5°S.
- Fig. 8. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie con orientación e inclinación conocida, a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 32,5 hasta 37,5°S.
- Fig. 9. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie con orientación e inclinación conocida, a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 37,5 hasta 42,5°S.

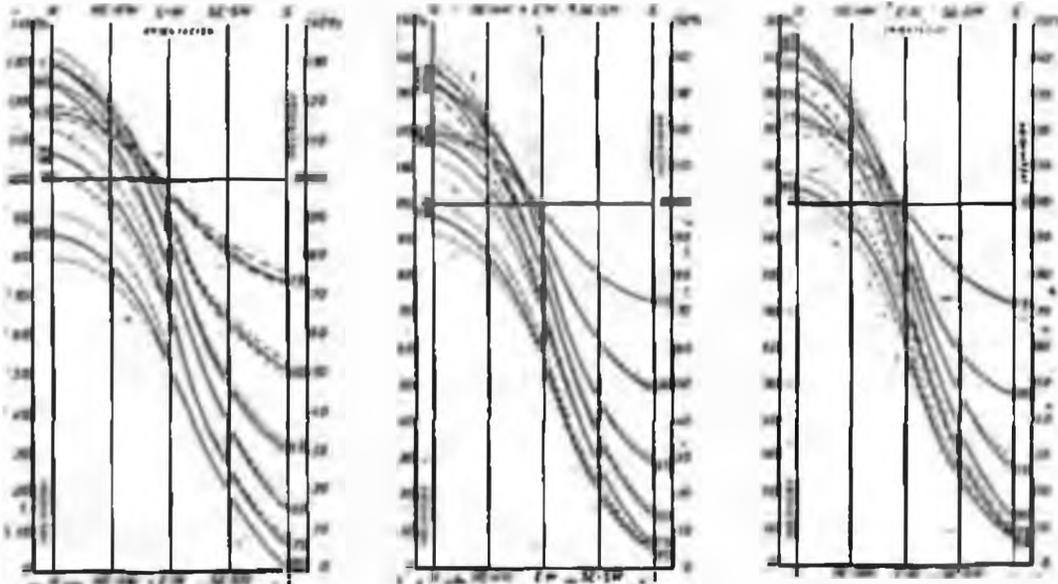


Fig. 10. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie con orientación e inclinación conocida, a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 42,5 hasta 47,5°S.

Fig. 11. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie con orientación e inclinación conocida, a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 47,5 hasta 52,5°S.

Fig. 12. Radiación potencial en porcentajes que debe llegar a una superficie con orientación e inclinación conocida a partir de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, ubicada a una latitud de 52,5 hasta 57,5°S.

período de tiempo, prefijado para cada estación.

Con estos antecedentes, y aplicando la misma metodología usada en la confección del mapa con la distribución de la radiación potencial por año en Chile (Mapa 1), se confeccionaron los mapas 2, 3 y 4, que representan la distribución de la radiación potencial que debe llegar a una superficie horizontal, considerando los factores latitud y altitud que la determinan para cada estación.

La distribución espacial de la radiación potencial, para la estación de verano en Chile, es relativamente pareja. Los valores más altos de la misma se encuentran en las altas cumbres de la Cordillera de Los Andes, en el Norte de Chile, con hasta 80 Kcal/cm², mientras que las más bajas, están en las planicies australes alcanzando valores de 60 Kcal/cm².

Variaciones más marcadas se encuentran

en primavera y otoño, donde existen diferencias de hasta un 100% entre la radiación potencial del Sur y Norte de Chile. Estas diferencias se hacen más marcadas en la estación de invierno, cuando la radiación potencial recibida por unidad de superficie, en la alta cordillera del Norte de Chile, quintuplica a la recibida para igual superficie en la zona austral.

Si se desea considerar la influencia del factor exposición de una superficie sobre el total de la radiación potencial que llega a ella para cada una de las cuatro estaciones del año, se debe recurrir a las figuras 13 al 27. En estas figuras aparecen los valores de la radiación potencial total (ordenada), que deben llegar a una superficie ubicada a 1.500 m.s.n.m. con una latitud (abscisa) e inclinación (curvas) conocida para cada una de las orientaciones geográficas y estaciones del año.

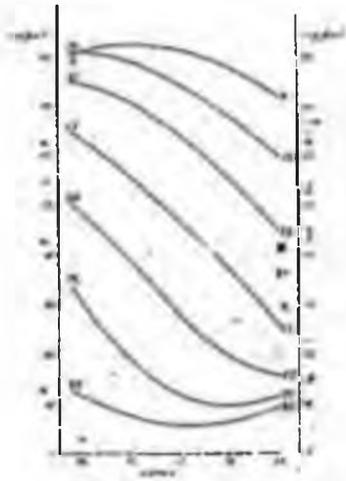


Fig. 13

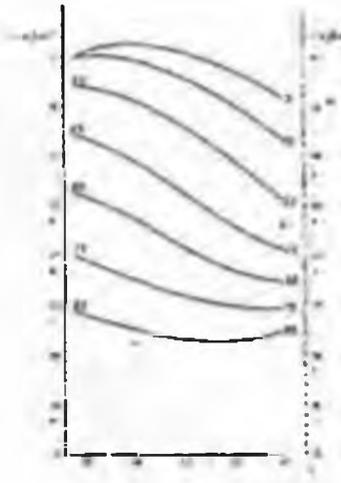


Fig. 14

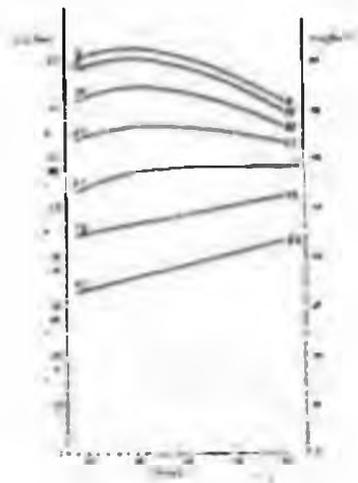


Fig. 15

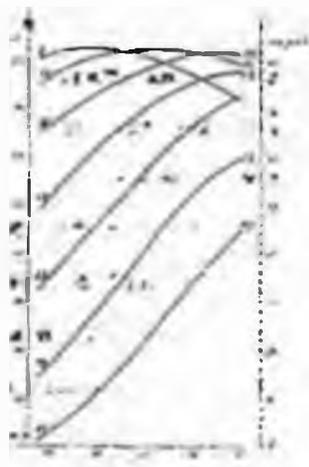


Fig. 16

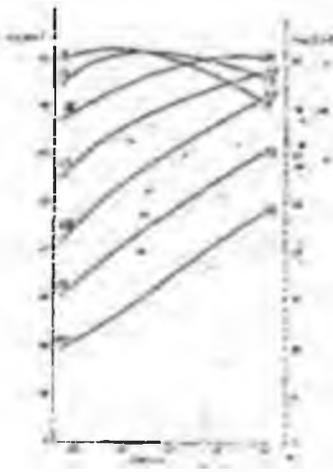


Fig. 17

Radiación potencial que debe llegar a una superficie, con orientación Sur (Fig. 13), Suroeste-Sureste (Fig. 14), Este-Oeste (Fig. 15), Norte (Fig. 16) y Nordeste-Noroeste (Fig. 17) a 1500 m.s.n.m. considerando su latitud e inclinación durante la estación de verano (7.11-3.2).

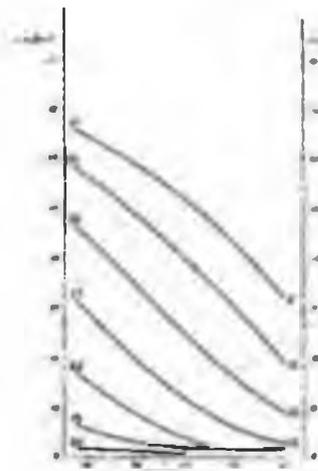


Fig. 18

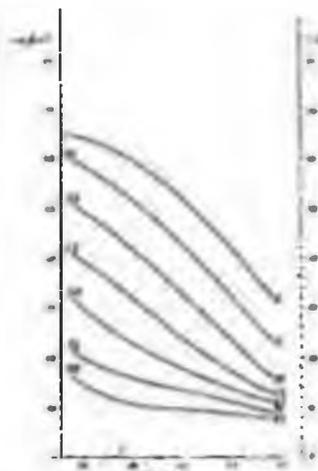


Fig. 19

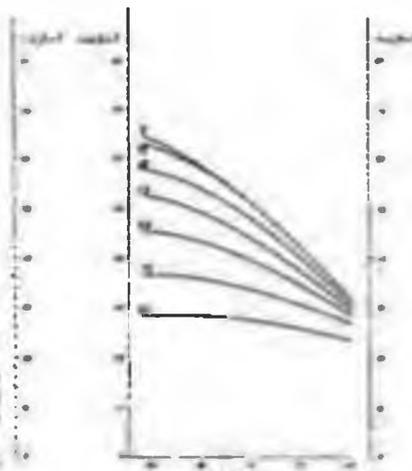


Fig. 20

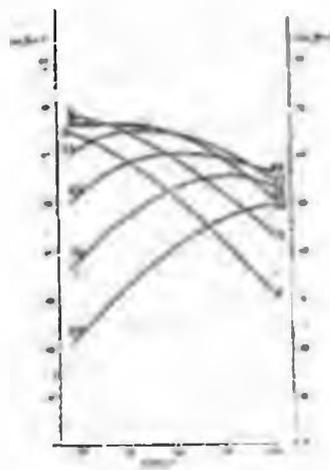


Fig. 21

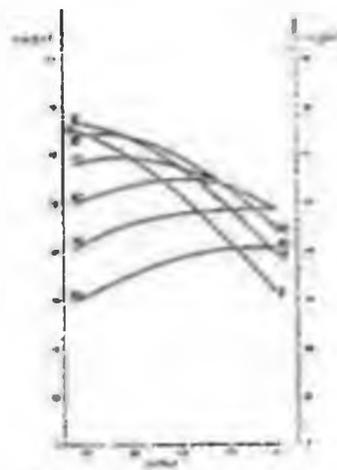


Fig. 22

Radiación potencial que debe llegar a una superficie, con orientación Sur (Fig. 18), Suroeste-Sureste (Fig. 19), Este- Oeste (Fig. 20), Norte (Fig. 21) y Nordeste-Noroeste (Fig. 22) a 1500 m.s.n.m. considerando su latitud e inclinación durante la estación de primavera u otoño (8.8. 6.11; 4.2-4.5).

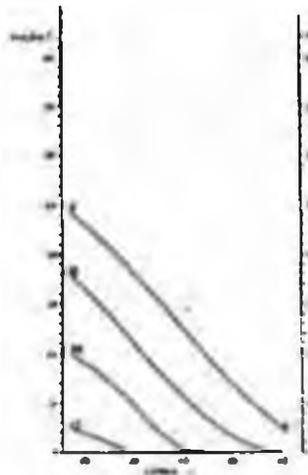


Fig. 23

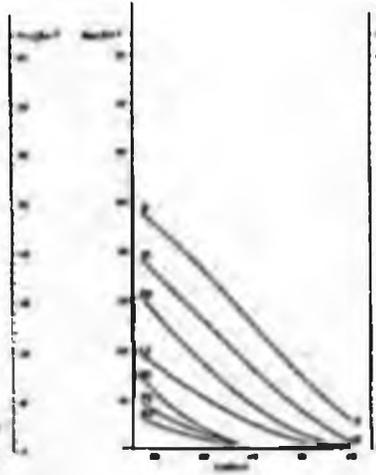


Fig. 24

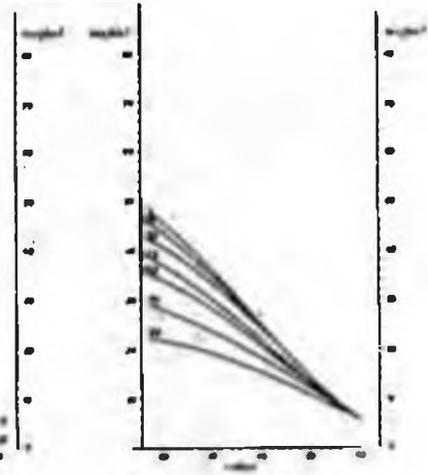


Fig. 25

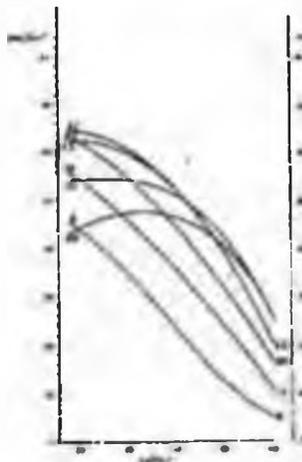


Fig. 26

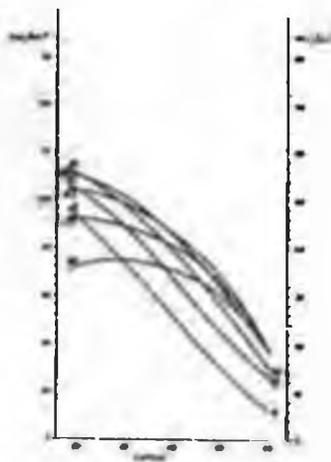
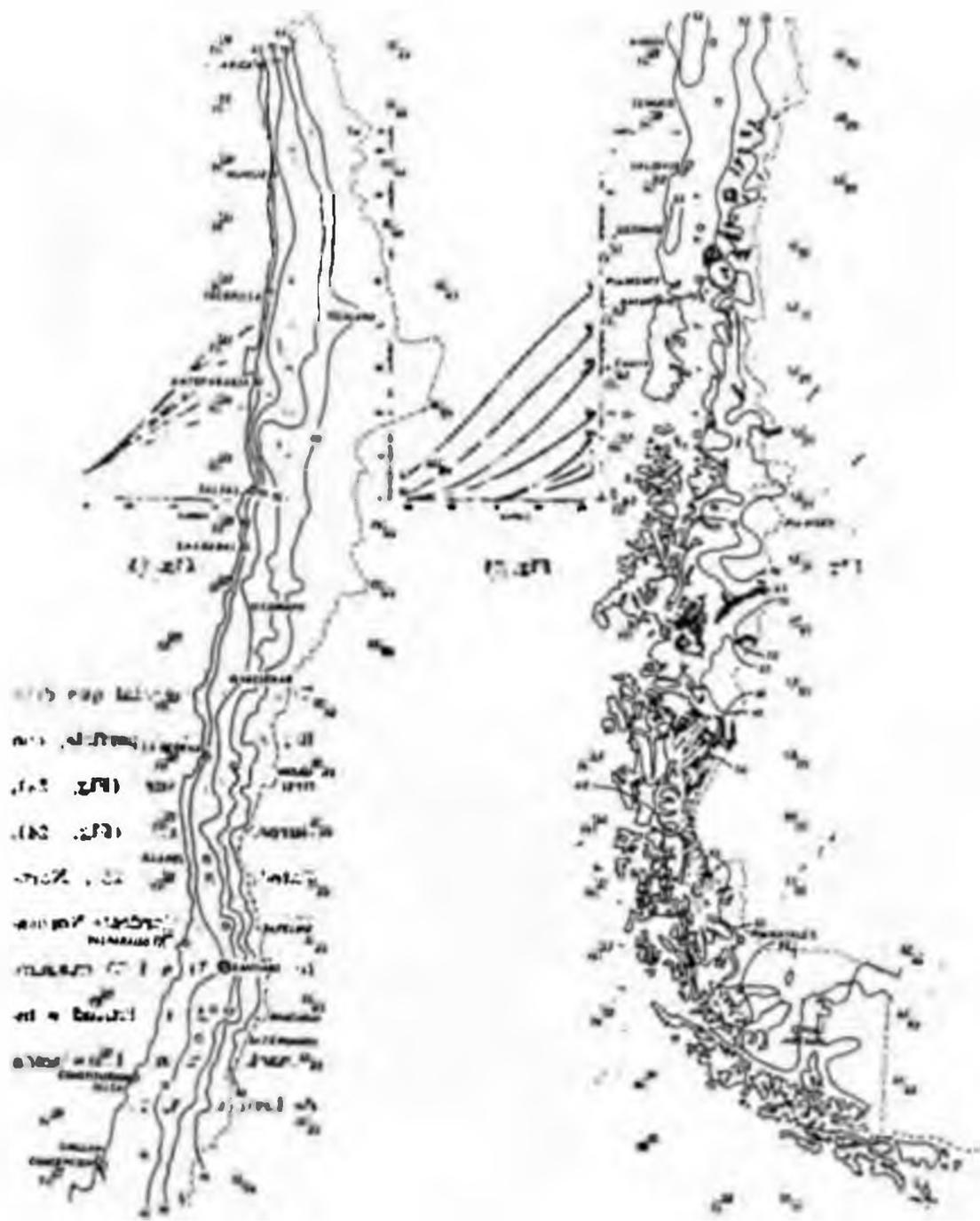
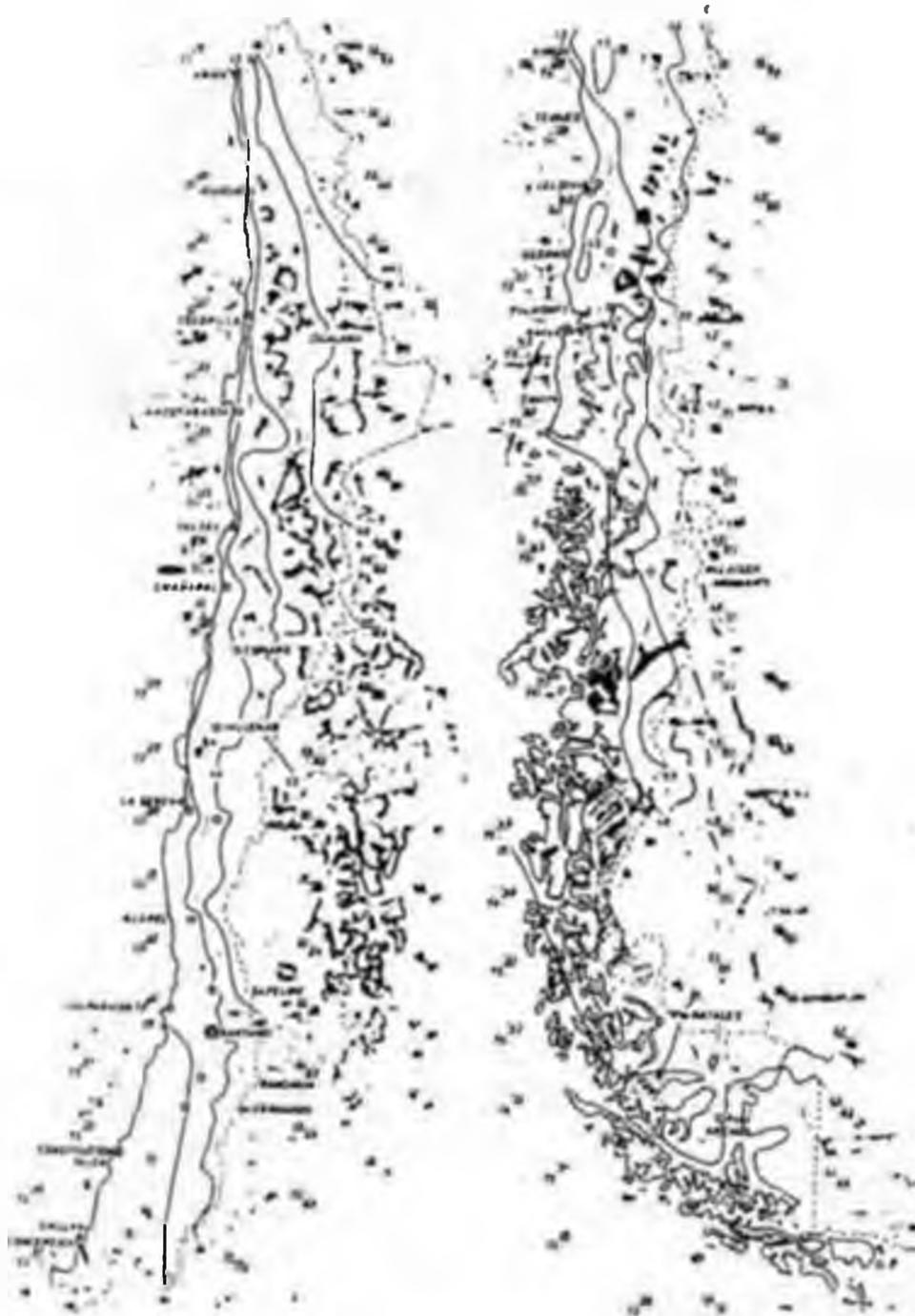


Fig. 27

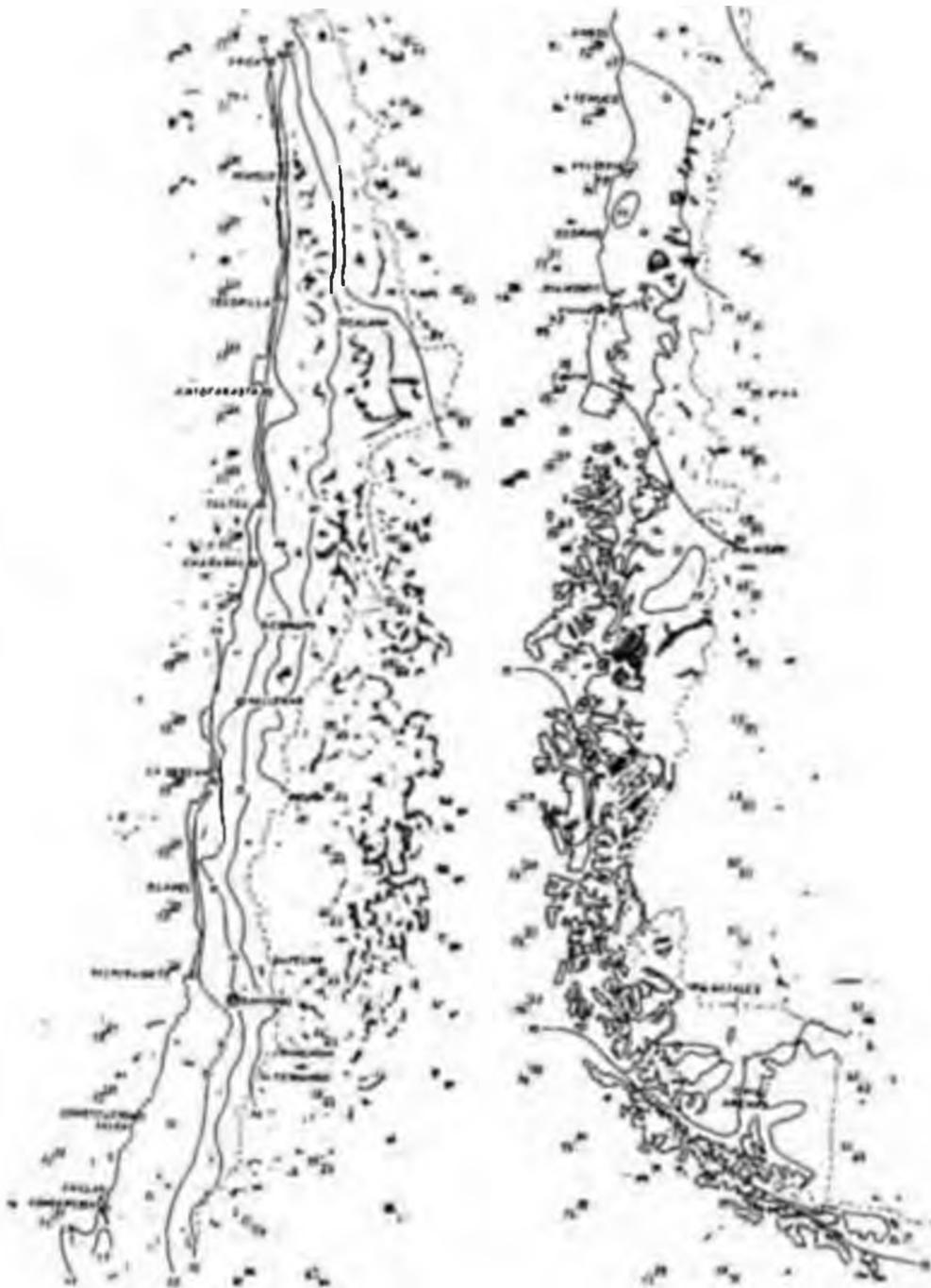
Radiación potencial que debe llegar a una superficie, con orientación Sur (Fig. 23), Suroeste-Sureste (Fig. 24), Este-Oeste (Fig. 25), Norte (Fig. 26) y Nordeste-Noroeste (Fig. 27), a 1500 m.n.m., considerando su latitud e inclinación durante la estación de invierno (5.5-7.8).



Mapa 2. Distribución promedio de la radiación potencial en kcal/cm² que llega a una superficie horizontal en Chile para la estación de verano (7.11 - 8.2).



Mapa 3. Distribución promedio de la radiación potencial en kcal/cm² que llega a una superficie horizontal en Chile para la estación de primavera u otoño (8.8 - 6.11, 4.2 - 4.5)



Mapa 4. Distribución de la radiación potencial en kcal/cm² que llega a una superficie horizontal en Chile para la estación de invierno (5.5 ..7.8)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BUFFO, J. et al. 1972. Direct solar radiation on various slopes from 0 to 60 degrees north latitude. USDA Forest Service Research Paper PNW-142 Portland Oregon.
- DIRMHIRN, J. 1964. Das Strahlungsfeld im Lebensraum. Akademische Verlagsgesellschaft. Frankfurt-Main.
- GIETL, G. 1974. Gelände- und Isolationskarten für das Gebiet des Nationalpark Bayerischer Wald. Forstw.Cbl. 93, 74-76.
- HEYNE, H. 1969. Diagramme zur Bestimmung der extraterrestrischen Hangbestrahlung. Mitt. aus dem Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln. Heft Nr 10.
- JUNGHANS, H. 1965. Der Geometriefaktor der Sonnenstrahlung. Wiss Zeitschrift der T.U. Dresden Nr. 14.
- JUNGHANS, H. 1967. Die Intensität der direkten Sonnenstrahlung auf geneigter Fläche. Zeit. F. angewandte Meteorologie 5.
- LEE, R. 1962. Theory of the equivalent slope Monthly weather Review 90. Washington 185-166.
- STEINHAUSER, F. 1939. Die Zunahme der Intensität der direkten Sonnenstrahlung mit der Höhe im Alpengebiet und die Verteilung der Trübung in den unteren Luftschichten. Meteorol. Z. 56.
- STEINHAUSER, F. 1956. Der Tages- und Jahresgang der auf die horizontale Ebene und auf verschieden orientierte senkrechte Wände Einfallenden Intensität der Sonnenstrahlung in verschiedenen Höhenlagen in Österreich. Ostrr Ing. Arch. 10.

