

ESTIMACION DE LA EFICIENCIA FOTOSINTETICA DE PASTIZALES DE ALTURA EN MENDOZA (ARGENTINA)

Olga E. Scarpati

Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM-CONICET)
Serrano 669 - 2º piso (1414) Capital Federal

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estimar la eficiencia fotosintética de pastizales de altura en Mendoza (Argentina) utilizando la topoclimatología teórica.

Para efectuar estos cálculos se usó la productividad primaria aérea neta con valores entre 140 y 170 g m⁻² y la radiación global media anual que osciló entre 300 y 500 M J m⁻².

Los resultados de la eficiencia fotosintética se encontraron entre 0,6 y 1,1% y, en cambio, cuando se utilizó la productividad primaria total la eficiencia fue cercana al 3%.

I. INTRODUCCION

El clima de una región depende, además del clima general de la zona en que está situada, de un conjunto de parámetros de distinta naturaleza inherentes al paisaje. La parte de la climatología general que estudia estas relaciones recibió distintas denominaciones a través del tiempo y se llama topoclimatología teórica (1) cuando se realiza con relevamientos topográficos, imágenes satelitarias, métodos empíricos y verificados de interpolación y extrapolación de datos meteorológicos y con ayuda de ordenadores electrónicos.

II. MATERIALES Y METODO

Los análisis topoclimáticos se desarrollaron en el área circunscripta en la carta topográfica "Estancia del Plata" del I.G.M. entre 33°00' y 33°10' LS y 69°15' y 69°30' LW. Esta zona pertenece al Departamento Luján de Cuyo de Mendoza y presenta distintas alturas, variando desde la Cordillera Frontal con 6.000 m hasta la cuenca del Río Blanco o la del Río Ancha'yuyo con altitudes menores a 2.000 m.

La primera parte de este estudio se ha desarrollado en (2) en el que se describe la región en su morfología, clima y vegetación y se determinó el área con desarrollo agrícola potencial. Para ello se subdividió la plancheta topográfica en unidades de malla cuadrada según coordenada Gauss-

Krüger, que permitió la ubicación y ordenamiento en sus unidades con facilidad. Por la escala del material básico se definieron áreas de 400 m de lado o sea una superficie de 0,16 Km². Se delimitó la zona con desarrollo agrícola potencial según sus temperaturas medias mensuales (2). Ellas no debían ser inferiores a 0°C en julio ni a 10°C en enero, que son umbrales térmicos usados en biometeorología vegetal. Esta área coincide con altitudes menores e iguales a 2.800 m. En la Fig. 1 se puede observar que esta región abarca la extensión comprendida desde el límite de altura señalada por el Oeste (Isohipsa 2.800 m) y hacia el Este, hasta el límite de la plancheta "Estancia del Plata". La zona del presente trabajo reunió 1.168 unidades reticulares equivalente a 187 Km².

Dado que la zona tiene uso agropecuario se consideró la capacidad del mismo estimando su productividad primaria, como un valor real de Recurso Natural Renovable.

II.1. ELEMENTOS TOPOGRAFICOS DEL AREA CON DESARROLLO AGRICOLA POTENCIAL.

En el Cuadro N°1 se observa la distribución de altitudes y de acuerdo a ella se comprende que el 50% del área tiene alturas inferiores a 2.300 m, lo cual implica aptitud de uso y manejo agropecuario.

El Cuadro N°2 muestra la distribución de las orientaciones de las pendientes. Las zonas con mayor iluminación o sea las orientadas al Norte - NW,N,NE - alcanzan el 26% del total, mientras que el grupo Sur - SW,S,SE - el 42,1%. Si se considera el conjunto de las orientaciones hacia el Este - NE,E,SE - se comprueba que abarcan el 59,7% y las orientadas hacia el Oeste - NW,W,SW - el 17,1%.

En el gráfico polar de la Fig.2 se observa el espectro de los porcentajes de frecuencia de las ocho orientaciones básicas del área, que no muestran un eje de simetría.

En el Cuadro N°3 se muestra la distribución de frecuencias de la inclinación de la pendiente y en él se puede constatar que sólo un 10,5% del área delimitada tiene una pendiente superior a 20°. Esto indica que la extensión es bastante llana, lo cual unido a las alturas que se refirieron en el punto anterior

apoya el criterio expuesto de una aptitud bastante buena.

II.2. ELEMENTOS CLIMATICOS QUE CARACTERIZAN EL AREA CON DESARROLLO AGRICOLA POTENCIAL.

Se analizaron los elementos climáticos fundamentales que contribuyen a la determinación de la productividad primaria y a la eficiencia fotosintética. Ellos fueron: radiación solar, temperatura media del aire, precipitación y balance del agua del suelo. Las estimaciones de estos elementos se hicieron en sus valores medios mensuales, que fueron los posibles de obtener.

La radiación solar, en zonas montañosas, como la aquí tratada, muestra grandes diferencias motivadas por las características topográficas, edáficas y de cubierta vegetal tan variables en estas zonas.

La radiación global fue el único elemento de la radiación que se pudo estimar con mayor seguridad, por la naturaleza de la información existente. Los valores básicos utilizados fueron las observaciones registradas con piranógrafo, en la estación meteorológica Las Aguaditas. La radiación directa del sol sobre la superficie horizontal de la tierra no pudo estimarse, por no existir observaciones en toda el área que abarca el estudio. El albedo o reflexión de onda corta, en registro continuo o aislado, que puede tener un importante componente direccional y que permitiría el cálculo o estimación del balance de radiación, tampoco ha sido observado, su estimación, sobre la base de las características de la cobertura de la superficie y de la información bibliográfica disponible, que puede resultar más segura en grandes extensiones de llanura resulta difícil e insegura de aplicar en regiones montañosas o con relieve accidentado.

La estimación de la radiación global sobre la superficie terrestre se realizó según el modelo (3) para cada unidad de reticulado, con los parámetros topográficos calculados y se expresó en sus valores medios mensuales y anuales.

El primer paso de aplicación del modelo fue el cálculo de la radiación solar diaria, en el límite superior de la atmósfera sobre una superficie horizontal según la fórmula:

$$H_0 = \frac{24 \times 3,600 C_s}{\pi} \times \left[1 + 0,0033 \cos\left(\frac{360 n}{365}\right) \right] \times \left[\cos \varnothing \cos \delta \sin \omega_p + \frac{2 \pi \omega_p}{360} \sin \varnothing \sin \delta \right] \quad (1)$$

H_0 : radiación solar en el límite superior de la atmósfera, integrada diariamente, sobre una superficie horizontal en MJ m⁻².

C_s : constante solar, valor asumido 1.367 W m⁻².

n : número del día del calendario Juliano, en el cual el número 1 correspondió al 1 de enero.

\varnothing : latitud del lugar (°)

ω_p : ángulo horario de la puesta del sol (°)

δ : declinación (°)

La falta de estaciones pirheliométricas y piranométricas en alturas extremas dentro del área de trabajo, impidió apreciar la variación de la atenuación de la radiación por la atmósfera. Sin embargo, teniendo en cuenta el pequeño valor que debe tener esta característica, dentro del estrato atmosférico de altura de aproximadamente 1.000 m de espesor, en días claros se adoptó un índice simple, general y uniforme para estimar la radiación recibida sobre la superficie terrestre, como el índice de claridad mensual sobre la superficie horizontal de la tierra (K_t) que se obtiene con la relación entre la radiación global media mensual recibida sobre una superficie horizontal de la tierra (\bar{H}) y H_0 obtenido por la fórmula ((1)).

A las unidades de área con pendiente nula se les adjudicó el \bar{H} mensual de Las Aguaditas y un valor \bar{H}_i a las unidades inclinadas, teniendo en cuenta su dependencia de la magnitud y la dirección de la pendiente.

Se aplicó la relación R:

$$R = \frac{\bar{H}_i}{\bar{H}} \quad (2)$$

que permite usar datos de radiación en superficie horizontal para estimar la radiación en superficies inclinadas.

Según la orientación de la pendiente de cada unidad de malla en particular (γ (°)) varió la fórmula ((2)) para obtener R de acuerdo a los siguientes casos:

a) Unidad de superficie orientada al norte en el Hemisferio Sur ($\gamma = 180^\circ$).

Se definen:

$$A = \cos(\varnothing + \beta) \cos \delta \sin \omega'_p$$

$$B = (\pi/180) \omega'_p (\sin \varnothing + \beta) \sin \delta$$

$$C = \cos \varnothing \cos \delta \sin \omega_p$$

$$D = (\pi/180) \omega_p \sin \varnothing \sin \delta$$

donde:

ω'_p : ángulo de horario de la puesta de sol de la superficie inclinada para

el día medio del mes, ya que se trabajó con valores medios mensuales (°).

β : pendiente de la unidad del área (°).

Y resulta:

$$R = \frac{A + B}{C + D} \quad ((3))$$

b) Unidad de superficie orientada hacia el sur en el Hemisferio Sur ($\delta = 0^\circ$)

Siendo:

$$E = \cos(\theta - \beta) \cos \delta \sin \omega'_p$$

$$F = (\pi/180) \omega'_p \sin(\theta - \beta) \sin \delta$$

Resultando:

$$R = \frac{E + F}{C + D} \quad ((4))$$

c) Unidad de superficie orientada en cualquier otra dirección:

- Superficies con componentes al este:
 δ entre -180° y 0°

- Superficies con componentes al oeste:
 δ entre $+180^\circ$ y 0°

Considerando:

$$G = (\cos \beta \sin \delta \sin \theta) (\omega'_p - \omega'_s) (\pi/180)$$

$$I = (\sin \delta \cos \theta \sin \beta \cos \delta) (\omega'_p - \omega'_s) (\pi/180)$$

$$J = (\cos \theta \cos \delta \cos \beta) (\sin \omega'_p - \sin \omega'_s)$$

$$K = (\cos \delta \cos \theta \sin \beta) (\sin \omega'_p - \sin \omega'_s)$$

$$L = (\cos \delta \sin \beta \sin \theta) (\cos \omega'_p - \cos \omega'_s)$$

donde:

ω'_s : ángulo horario de la salida del sol de la superficie inclinada (°).

δ : orientación de la superficie (°)

Y resulta:

$$R = \frac{G - I + J + K - L}{2(C + D)} \quad ((5))$$

Una vez obtenidos los valores medios mensuales para cada unidad de malla cuadrada se calcularon los promedios anuales de los medios mensuales (Fig. 3).

Con los valores de temperatura y precipitación media mensual y la latitud del lugar se aplicó el modelo (4) del balance de agua del suelo.

II.3. CARACTERES FITOLOGICOS DEL AREA CON DESARROLLO AGRICOLA POTENCIAL.

Mediante el relevamiento aerofotográfico se analizó la vegetación de la región y se clasificaron distintas unidades luego de su comprobación a campo. Se distinguieron nueve unidades de vegetación natural y una de cultivos, en amplia expansión por la información recogida en el lugar.

A continuación se analiza someramente los tipos de vegetación hallados:

- 1) El matorral de arbustos medios está representado principalmente por Fabiana sp. y Verbena scoparia, con piso de escasa cobertura de Stipa sp. y Poa sp.
- 2) El matorral de arbustos medios a grandes, se compone principalmente de Larrea divaricata, Eupatorium bunifolium, Larrea nítida y Adesmia trijuga con pastizal de Stipa sp.
- 3) El pastizal abierto con 50% de arbustos medios a pequeños presenta predominio de distintas especies del género Poa.
- 4) El pastizal de Stipa tenuissima, semidenso a denso, con menos del 50% de arbustos pequeños, continúa hacia el Este, hasta que la pendiente se hace más abrupta, sobre las Cerrilladas del Tupungato, donde cede espacio ante el aumento de la densidad específica de arbustos.
- 5) El pastizal de Stipa tenuissima semidenso o denso que ocupa laderas bajas de pendiente suave.
- 6) Un pastizal abierto a semidenso que se encuentra en el fondo de valles y laderas bajas.
- 7) Un pastizal de Stipa tenuissima abierto con arbustos pequeños a medios cuya importancia va aumentando a medida que se asciende hacia el Este.
- 8) El pastizal muy abierto con menos del 50% de arbustos pequeños que ocupa cumbres y laderas medias y altas.
- 9) La vegetación abierta de afloramientos rocosos y que se halla en laderas y pendientes fuertes.
- 10) El área cultivada que se encuentra principalmente en el valle del Río Anchayuyo extendiéndose hacia el Oeste y en los últimos años en la Quebrada de la Hoyada y en el valle del Río Blanco.

Un parámetro básico de carácter fisiológico para determinar la capacidad o potencial de una región agrícola, ganadera o forestal, es la productividad primaria o materia seca vegetal que se puede acumular en la unidad de tiempo y espacio, en un lugar geográfico determinado.

Una vez corridos los datos disponibles por computador electrónico, los resultados que ajustaron bastante bien con los obtenidos experimentalmente fueron los del modelo "Thornthwaite Memorial" (5) utilizando como elemento climático los valores de evapotranspiración real mensuales de los meses con temperaturas medias $\geq 5^{\circ}\text{C}$, acumulados en su valor total anual. Se consideró que 5°C es el umbral térmico en el cual la mayoría de las plantas de clima templado comienzan los procesos de crecimiento activo.

Una vez establecida la productividad primaria se redujeron sus valores a la que corresponde a la porción aérea de la vegetación. Según (6) la parte subterránea es el 80% de la productividad total en este tipo de estepa. Consecuentemente, se estimó la productividad primaria aérea neta, cuyas magnitudes oscilaron entre 140 y 170 g/m^2 como se muestra en la Fig. 4.

La eficiencia de la conversión fotosintética, que es la proporción de la energía utilizada en la formación de materia seca vegetal y la energía disponible, sea ésta en términos de radiación global o de balance de radiación, es un parámetro que ha sido muy usado con sentido geográfico, para evaluar la mayor o menor aptitud del ambiente para aprovechar la energía disponible.

De acuerdo a este concepto, la eficiencia fotosintética se puede expresar así:

$$\mathcal{E}(\%) = \frac{M S}{R g} \times 100 \quad ((6)) \text{ donde:}$$

\mathcal{E} : eficiencia fotosintética (%).

M S : materia seca expresada en unidades energéticas ($\text{Kcal m}^{-2} \text{ año}^{-1}$).

R g : radiación global media en la unidad de tiempo ($\text{Kcal m}^{-2} \text{ año}^{-1}$).

Se adjudicó una relación de 4 Kcal por gramo de materia seca en la transformación energética.

Con los valores de radiación global media anual y de productividad aérea neta se obtuvo el valor de la eficiencia en la conversión fotosintética, en las unidades de área de la región estudiada, como se observa en la Fig. 5.

Se puede comprobar así, que los valores más frecuentes se hallan entre 0,6 y 0,7%. Los valores más altos (1 - 1,1%) están en pastizales de mayor altura. Se aprecia además, que las regiones más bajas, como la Quebrada de La Hoyada y el Valle del Río Anchayuyo, son las que tienen los menores porcentajes. Ello se debe a los valores más bajos estimados de la precipitación (2) y por ende de la evapotranspira-

ción real y la productividad primaria aérea neta; pero esa zona compensa esto con su relieve más plano.

Si se toma en consideración la productividad primaria total los valores de eficiencia fotosintética se encuentran alrededor del 3% que resultan muy coherentes con los que se han observado en otros trabajos, para este tipo de vegetación (7).

III. REFERENCIAS

- (1) Enders, G. (1979) National Park Berchtesgaden Forestische Topoklimatologie, Forschungsberichte Verlag Anton Plenk K. G., Berchtesgaden.
- (2) Scarpati, O.E. y Burgos, J.J. (1985) Topoclimatología teórica en campos altos de Mendoza, República Argentina. GEOACTA, Vol. XIII (1), Pag. 193-204.
- (3) Duffie, J.A. and W.A. Beckman (1980) Solar engineering of thermal processes. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin- Madison, John Wiley & Sons. New York, USA.
- (4) Thornthwaite, C.W. and J.R. Mather (1955) The water balance. Publications in Climatology VII (1) 104 p. Drexel Inst. of Tech. New Jersey, USA.
- (5) Lieth, H. and E. Box (1972) Evapotranspiration and primary productivity; C.W. Thornthwaite Memorial Model. Publications in Climatology Vol. 25 (2): 37-46. Centerton/Elmer, New Jersey, USA
- (6) Rodin, L.E. and N.I. Basilevich (1965) World distribution of plant biomass. Botanical Institute of the Academy of Sciences of the URSS, Leningrad and Dokuchaev Soils Institute, Moscow. Functioning of terrestrial ecosystem at the primary production level, t.V, p.45-52. Proceedings of the Copenhagen Symposium, UNESCO, PARIS.
- (7) Cooper, J.P. (1970) Potential production and energy conversion in temperate and tropical grasses. Herbage Abstracts, Vol. 40, N°1, March, 1970.

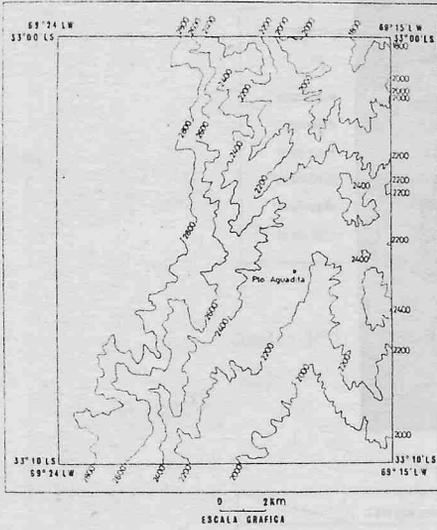


Fig.1: Area con desarrollo agrícola potencial.

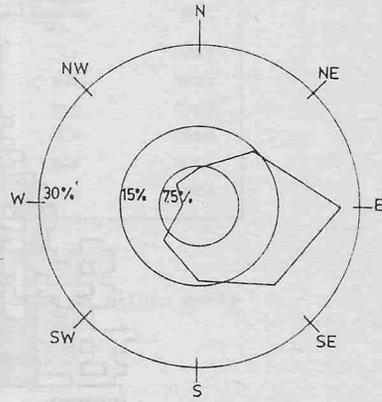


Fig.2: Distribución de frecuencia de direcciones de la pendiente.

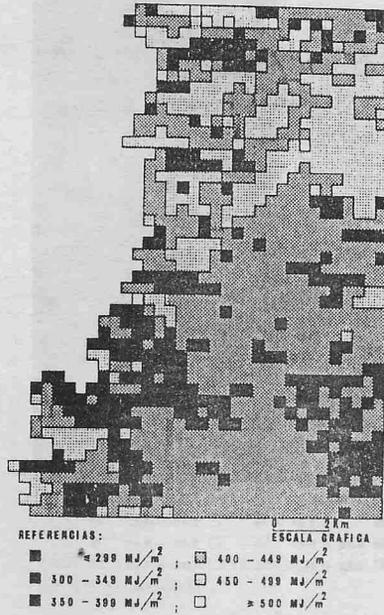


Fig.3: Radiación global media anual (MJ/m^2).
(Expresada como promedio de los valores mensuales)

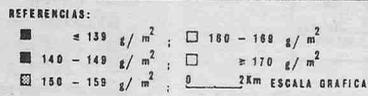
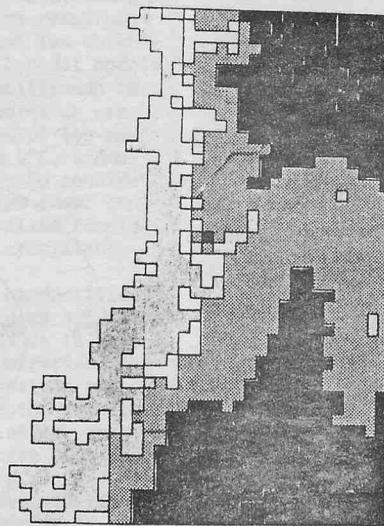


Fig.4: Productividad primaria aérea neta (g/m²).

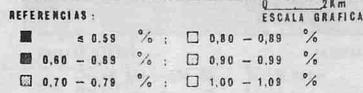
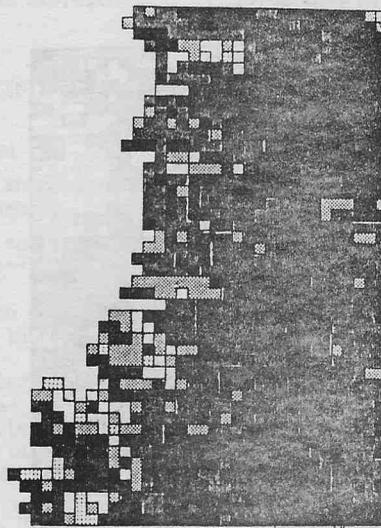


Fig.5: Eficiencia de la conversión fotosintética (%).

Intervalo-clase (m)	Frecuencia	Frecuencia Porcentual (%)	Frecuencia Porcentual Acumulada (%)	Altura media (m)
1680-1879	36	3,1	3,1	1832,3
1880-2079	220	18,8	21,9	1993,0
2080-2279	329	28,2	50,1	2191,3
2280-2479	335	28,7	78,8	2369,0
2480-2679	152	13,0	91,8	2577,4
2680-2879	96	8,2	100,0	2742,2

Cuadro N°1: Distribución de frecuencia de altura media

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	TOTAL
Sector Norte	6,8	13,9						5,3	26,0
Sector Este		13,9	25,3	19,9					59,7
Sector Sur				19,9	13,3	8,9			42,1
Sector Oeste						8,9	2,9	5,3	17,1

Plano = 3,1%

Cuadro N°2: Distribución sectorial de la orientación de la pendiente (%).

Intervalo-clase (%)	Frecuencia	Frecuencia Porcentual (%)	Frecuencia Porcentual Acumulada (%)
$n < 0,0$	92	7,0	7,0
$0,1 < n < 1,9$	0	0,0	7,0
$2 < n < 4,9$	175	15,0	22,0
$5 < n < 9,9$	406	34,8	56,8
$10 < n < 19,9$	382	32,7	89,5
$20 < n < 29,9$	117	10,0	99,5
$30 < n < 44,9$	5	0,4	99,9
$n \geq 45$	1	0,1	100,0

Cuadro N°3: Distribución de frecuencia de la inclinación de la pendiente.