

RADIACIÓN SOLAR Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Enferm Novera Soto-Aguilar
Mario Navarrete Palma.

RESUMEN

Se analiza la importancia de la radiación solar en la evapotranspiración potencial de un cultivo a partir del balance radiativo en Santiago de Chile. Los valores obtenidos se comparan con los dados por bandejas evaporímetros. De los valores de ETP se calcula un uso consumo el cual es comparado con valores medidos por el método del balance hídrico. La comparación se hace para cuatro cultivos: alfalfa, trigo, porotos y cebollas. Se concluye que:

- El balance de energía radiativa permite una estimación de la ETP similar a la estimación obtenida con evaporímetro de bandeja.

- Si se divide por 10 el valor de la radiación total incidente, en calorías/cm² se obtiene, aproximadamente, el valor de la evaporación de bandejas en m³/ha, con menos de un 10% de error.

- La estimación del uso-consumo a partir de la ETP dada por la evaporación de bandeja o el balance radiativo es aceptable para alfalfa, pero para trigo, porotos y cebollas, es mejor la estimación a partir de la fórmula de Panagakis.

- La relación uso-consumo: evaporación de bandeja, es de 0,86 para alfalfa y de 0,52 - 0,59 para trigo, porotos y cebollas.

INIA. La Platera



RADIACION SOLAR Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

RAFAEL NOVOA SOTO-AGUILAR

MARIO NAVARRETE PALMA

Noviembre - 1984

RADIACION SOLAR Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Rafael Novoa Soto-Aguilar

Mario Navarrete Palma

R E S U M E N

Se analiza la importancia de la radiación solar en la evapotranspiración potencial de un cultivo a partir del balance radiactivo en Santiago de Chile. Los valores obtenidos se comparan con los dados por bandejas evaporímetros. De los valores de ETP se calcula un uso consumo al cual es comparado con valores medidos por el método del balance hídrico. La comparación se hace para cuatro cultivos: alfalfa, trigo, porotos y cebollas. Se concluye que:

- El balance de energía radiativa permite una estimación de la ETP similar a la estimación obtenida con evaporímetro de bandeja.

- Si se divide por 10 el valor de la radiación total incidente, en calorías/cm² se obtiene, aproximadamente, el valor de la evaporación de bandejas en m³/ha, con menos de un 10% de error para el período.

- La estimación del uso-consumo a partir de la ETP dada por la evaporación de bandeja o el balance radiativo es aceptable para alfalfa, pero para trigo, porotos y cebollas, es mejor la estimación a partir de la fórmula de Papadakis.

- La relación uso-consumo: evaporación de bandeja, es de 0,86 para alfalfa y de 0,52 - 0,59 para trigo, porotos y cebollas.

RADIACION SOLAR Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Rafael Novoa S.A. *

Mario Navarrete P. *

La evapotranspiración es la suma de la evaporación del suelo y de la transpiración cuticular y estomática de un vegetal. Desde el punto de vista físico la evaporación y la transpiración son la misma cosa representando el paso del agua desde una fase líquida a una gaseosa, Slatyer, 1967.

Bouchet, de Parcevaux y Arnoux 1963, definen la evapotranspiración potencial como "un factor climático que corresponde a la energía disponible para la evaporación". Ella es igual a la pérdida de agua en fase gaseosa de un cultivo que cubra totalmente el suelo y que esté abundantemente regado. Este hecho justifica la necesidad de medir o estimar la ETP desde el punto de vista agrícola.

Entre los métodos usados para evaluar la ETP se tiene; el del balance hídrico, el de bandejas evaporímetros, el de los lisímetros, el de uso con fórmulas empíricas, etc., y el método del balance de energía.

Para que se produzca el paso de agua líquida a vapor de agua se requiere un aporte de energía a la fase líquida. En condiciones naturales, la energía requerida sería aportada por la radiación solar, el déficit de saturación, el aire y el viento.

El balance de energía, sólo considera los aportes de energía radiante, asume que en primera aproximación la ETP es proporcional a la radiación neta.

La ecuación del balance de energía.

La energía solar o radiación solar que incide sobre un cultivo es parcialmente reflejada, transmitida y el resto absorbida por el sistema planta-

* Ings.Agrs. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Platina. Santiago-Chile.

suelo. Si se aplica la ley de conservación de la energía es posible establecer una ecuación en la cual se hace explícita las formas como se disipa la energía absorbida. El estudio de estos procesos nos permite tener un método de evaluación de la ETP. Es claro, que este método de evaluación no es rigurosamente exacto y sólo debemos considerarlo como una primera aproximación al problema de determinar el requerimiento hídrico de un cultivo en una zona dada.

La ecuación del balance de energía puede tomar diversas formas: Bouchet, P, 1963; Cruzat, P. 1970; Rose, 1966; Slatyer, 1967; Tamer 1963, etc. Para poder expresarla claramente es conveniente primero definir la radiación neta o radiación absorbida por el sistema, ella está dada por:

$$R_n = R (1 - a) + R_a - T_s^4$$

R_n = radiación neta

R = radiación solar de onda corta, global

a = albedo o coeficiente de reflexión

R_a = radiación de onda larga emitida por los gases atmosféricos.

T_s^4 = radiación de onda larga emitida por el suelo y las plantas.

Este balance radiativo no considera la energía advectiva aportada por el viento, la cual puede ser de gran importancia en zonas desérticas donde la ETP será mayor que la esperada por el balance de energía.

Bajo condiciones de riego abundante, la radiación de onda larga de la atmósfera y del suelo tienden a ser similares, mientras que en condiciones de secano la emisión de radiación de onda larga por el mismo suelo-planta

es bastante mayor que la atmosférica. Carbon, J.M. 1973. Según Van Wijk y Sholte Ubing, 1963, como T_g no puede ser medida fácilmente se asume que la temperatura del aire y de la superficie son aproximadamente iguales, en promedio para períodos de por lo menos un día, lo que sería válido para la situación de la Europa Occidental. Lo anterior hace que podamos despreciar el balance de onda larga. Eso sí, en condiciones de clima árido a semi árido sin riego el valor de la radiación del sistema sulco-planta será superior a la atmosférica y en ese caso el valor verdadero de R_n será menor que el calculado sin considerar el valor del balance de la radiación de onda larga. En todo caso el error de estimación de I_n que se comete nos aumenta la ETP, lo que puede compensar en parte el error de no considerar la energía aportada por advección.

Por lo anterior podemos escribir que:

$$R_n = (1 - a) R_{\text{incidente}}$$

Ahora bien, la ecuación de disipación de la R_n es la siguiente:

$$R_n = LE + H + R_g + Q + F$$

en la que,

R_n = radiación neta

LE = flujo de calor latente o energía usada en evaporar agua

H = flujo de calor sensible o energía que se disipa al calentarse el
aire en contacto con el suelo y las plantas.

R_g = flujo de energía que penetra al suelo

Q = energía gastada en calentar los vegetales

F = energía radiante usada en el proceso fotosintético.

De acuerdo a estimaciones dadas, Slatyer, 1967, si damos un valor de 100% a R_n , 80 % le corresponde a LE , 10-12%, a H , 5% a R_g , 1-2% a F y Q pue

de ser expresado para periodos de un día. Por lo tanto, en primera aproximación,

$$LE = 0,8 R_n$$

Por lo tanto nuestro problema se reduce a calcular el valor de R_n .

Como se indicó antes, R_n resulta de la diferencia entre radiación incidente y radiación reflejada. El valor de la radiación incidente de onda corta y larga de una zona puede ser medido usando radiómetros o estimado a partir de fórmulas que expresan este valor en función de la radiación extraterrestre y de las mediciones de la insolación.

La radiación neta puede ser medida directamente usando un radiómetro neto o albedómetro.

La radiación reflejada puede ser conocida midiéndola o estimándola si se conoce el coeficiente de reflexión o albedo de la superficie en cuestión. El albedo varía para la mayor parte de las superficies vegetales entre 0.10-0.40. Para una misma especie vegetal puede variar según su estado de hidratación o su estado de madurez.

Van Wijk y Sholte Ubing, 1963 y Linacre E.T, 1968, dan una lista de coeficientes de reflexión para diferentes superficies naturales, ejemplo:

Pasto verde	:	0.16 - 0.27
Pasto seco	:	0.16 - 0.19
Cereales	:	0.10 - 0.25
Pradera seca	:	0.32
Pradera húmeda	:	0.22
Trigo	:	0.21
Praderas	:	0.26 - 0.28



El flujo de calor en el suelo (R_s) puede ser medido usando placas medidoras del flujo de calor en el suelo.

El flujo de calor sensible (H) puede estimarse si se conoce la temperatura de la superficie evaporante y la del aire, ya que este flujo es proporcionado a esta diferencia entre estas dos temperaturas.

$$H = k d c_p \frac{\partial T}{\partial Z}$$

k = coeficiente de transferencia turbulenta del calor

d = densidad del aire húmedo

c_p = calor específico del aire húmedo

$$\frac{\partial T}{\partial Z} : \text{gradiente de temperatura}$$

Estimación de la ETP y su comparación con Mediciones de Uso-Consumo.

Los antecedentes dados nos permiten calcular la ETP usando el balance de energía. Los valores que se indican se obtuvieron considerando un valor del albedo de 0.25 para la alfalfa, 0.20 para el trigo y de 0.26 para porotos, cebollas. Los valores de uso consumo fueron obtenidos usando el balance hídrico y realizados por el personal del Programa de Riego del INIA. Para comparación se indica los valores de las bandejas evaporímetras, se calculó un uso consumo equivalente a 90% de la ETP pues numerosos trabajos indican que el uso consumo equivale a un 80-90% de la evaporación de bandeja cuando el cultivo alcanza a cubrir totalmente el suelo, Córdova, P., 1974, Fritshen y Shaw, 1961. Perman, citado por Russell, 1961, indica que el consumo de agua de un prado, en verano, alcanza a un 80% de la evaporación de una superficie de agua libre. Además, se da los valores obtenidos usando la fórmula de Papadakis, 1965, la cual se basa en el déficit de saturación. Ver Cuadro 1.

CUADRO N° 1

Especie (1)	R_i (2) cal/cm ²	R_n cal/cm ²	ETP, m ³ /ha Bal. energ.	ETP m ³ /ha Papadakis	Evaporación de bandeja, m ³ /ha
Alfalfa	95.743	71.807	9.574	6.700	9.815
Trigo	64.056	51.245	6.833	1.200	6.162
Poroto	75.907	56.160	9.360	4.900	8.101
Cebolla	76.818	56.845	9.640	4.700	8.182

- (1) - Alfalfa cultivada desde el 11 del X - - 29-III, promedio 5 años
La Platina, Santiago Chile.
- Trigo cultivado desde el 20-IX- - 15-I, Promedio 5 años, Santiago
Chile.
- Poroto cultivado desde el 20-XI-1973 - 29-III-1974.
- Cebollas cultivado desde el 29-X-1973 - 4-III-1974.

(2) R_i = radiación incidente total durante los periodos considerados.

En este Cuadro se ve la gran correlación que existe para la evaporación de bandeja y el valor calculado de la ETP a partir del balance de energía. Son muy cercanos para la situación de la Estación Experimental La Platina, Santiago de Chile. Aproximadamente, dividiendo por 10 el valor de la radiación incidente expresado en cal/cm² se obtiene la evaporación de bandeja en m³/ha.

La ecuación de Papadakis da un valor inferior a los otros métodos de estimación de la ETP pero veremos más adelante que sus valores usados para calcular el uso consumo son bastante buenos para algunos cultivos.

En el Cuadro 2, se compara los valores de uso-consumo estimados a partir del Balance de energía de la Bandeja evaporímetro y de la fórmula de Papadakis. Se consideró que para el cultivo que cubra totalmente el suelo de uso-consumo es de 0.9 ETP.

CUADRO N° 2

Especie	Rendi- miento qq/ha	Uso-Consumo		Estimados m ³ /ha		Uso-Con- sumo medido	Uso-Con- sumo EV. Band.
		Bandeja	Balac. energ.	Papadakis			
Alfalfa	804,0 (1)	9.834	8.617m	6.000	8.400	0.86	
Trigo	41.0 (2)	5.546	6.149	3.900	3.200	0.52	
Poroto	35.9	7.291	6.558	4.400	4.820	0.54	
Cebolla (3)	682,0	7.364	8.424	4.200	4.700	0.57	
Cebolla (4)	625,0	7.364	8.676	4.200	4.500	0.55	

(1) : Materia verde - promedio 68 y 69

(2) : Producción - promedio 68 y 69

(3) = Regadas a 0.4 atmósferas

(4) = Regadas a 0.7 atmósferas

En el Cuadro se ve que el valor obtenido usando la bandeja evaporimetro o el balance de energía son muy cercanos al valor medido para el caso de la alfalfa que es un cultivo perenne en el cual se cumple el requisito de estar cubriendo totalmente el suelo y bien provisto de agua durante todo el período en que se midió el uso-consumo, en este caso el uso consumo medido representó un 86% de la evaporación de bandeja. Es posible que para los otros cultivos considerados se pueda mejorar la estimación hecha si se usara el valor de albedo verdadero y no al dado por la literatura.

A la inversa, la fórmula de Papadakis da resultados más cercanos al valor medido para el trigo, porotos y cebolla.

La relación uso consumo medido - evaporación de bandeja da valores de 86% para alfalfa, y de 52 - 59% para los otros cultivos. El valor para la alfalfa es similar al encontrado por otros autores, Perman, Fritchen y Shaw,

1961 y Córdova, 1974, etc.

Llama la atención también, el hecho que el uso consumo medido en cebollas sea casi la mitad del uso consumo de la alfalfa. Esto se debe en parte a que el uso consumo de la alfalfa se midió durante 169 días mientras que el de la cebolla se midió 127 días. Si se calcula el consumo diario promedio para alfalfa resulta de $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ y el de cebolla $37 \text{ m}^3/\text{ha}$. Lo más posible es que esta diferencia se deba a que la cebolla tiene un tipo de follaje que permite un paso de radiación mayor que el de la alfalfa y a la densidad usada no cubre totalmente el suelo.

Se nota también un menor consumo de agua en cebolla regada a 7 atmósferas que a 0.4 atmósferas y una leve disminución de rendimiento.

Conclusiones

Los antecedentes presentados muestran la importancia de la radiación solar en determinar la evapotranspiración de un cultivo y sobre todo en la evaporación de una superficie libre de agua (evaporímetro de bandeja). Es posible que los valores obtenidos sólo sean válidos para la zona de Santiago de Chile, donde el clima es mediterráneo, semi-árido. En climas más secos, podría ser diferente debido al efecto de la advección. Sin embargo, la fórmula de Papadakis basada en el déficit de saturación, da valores en general inferiores al del balance radiativo.

El balance radiativo permite una estimación de la ETP similar a la obtenida a partir de un evaporímetro de bandeja. Ello hace pensar que en las condiciones estudiadas la radiación solar explicaría, en más de un 50% la evaporación de una superficie de agua libre.

Si se divide por 10 el valor de la radiación total incidente, en calorías por centímetro cuadrado, se obtiene, aproximadamente, el valor de la evaporación de bandeja en metros cúbicos por hectáreas, con un error inferior al 10% para todo el período. Mes a mes las diferencias son mayores, solo en los meses de Noviembre a Abril se mantienen bajo el 10%.

La estimación del uso-consumo, a partir de la ETP dada por el balance radiativo o la evaporación de bandeja, es aceptable para alfalfa, pero para trigo, porotos y cebollas, es mejor la estimación obtenida a partir de la fórmula de Papadakis.

La relación uso-consumo, : evaporación de bandeja es de 0,86 para la alfalfa, 0,52 para trigo, 0,59 para porotos y 0,57 para cebolla, para todo el período estudiado.

BIBLIOGRAFIA

- BOUCHET, R.J. 1963. Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. Annales Agronomiques 14(5): 743-824.
- _____, S. de Parceaux et J.V. Arnoux. Amélioration du rendement des végétaux par abaissement de l'évapotranspiration potentielle Annales Agronomiques 15 (5): 825-833.
- CABORN, J.M. 1973. Microclimas. Endeavour 32 (115): 30-33.
- CORDOVA, F. 1974. Relaciones entre uso-consumo y evaporación de bandeja en un cultivo de maíz. Agricultura Técnica 34 (1): 11 - 15.
- CRUIZIAT, P. 1970. Contribution à l'utilisation de la notion d'ETP en Sylviculture et écologie forestière. Bois et forêt des tropiques. 134:21-42.
- FRIETCHEN, L.J. and R.H. SHAW. 1961. Evapotranspiration for corn as related to Pan Evaporation. Agronomy Journal. 53:149-150.
- LINACRE, E.T. 1968. Estimating the net radiation flux. Agricultural Meteorology. 5(1):49-63.
- PAPADAKIS, JUAN. 1965. Potential Evapotranspiration. Ed. por el autor. 54 p.
- ROSE, C.W. 1969. Agricultural Physics. Pergamon Press. 230 p.
- RUSSELL, E.W. 1961. Soil conditions and Plant Growth. John Wiley and Sons. New York. 688 p.
- SLATYER, R.O. 1967. Plant-water relationships. Academic Press. 306 p.
- TANNER, C.B. 1963. Energy Relations in Plant Communities. In L.T. Evans. ed., Environmental Control of Plant Growth. Academic Press, p. 141.148.
- Van WIJK, W.R. and D.W. SHOLTE UBING, 1963. Radiation. In W.R. Van Wijk, ed., Physics of Plant Environment. North Holland Publishing Co. Amsterdam, p. 62-101.

