

## NOTAS TECNICAS

### CONSUMO DE AGUA POR LAS PLANTAS

Por: Manuel Grillo F\*

#### INTRODUCCION

El consumo de agua por las plantas (transpiración-evapotranspiración) es un proceso primordialmente controlado por la energía solar pero modificado por la planta, el suelo y factores atmosféricos que rigen la absorción y distribución de energía en las superficies de evaporación (hojas, superficie del suelo adyacente) y por el flujo de agua y vapor de agua hacia y desde estas superficies, respectivamente.

En consideración a que el contenido de humedad en las plantas, es solamente una pequeña porción ( 1.0%) del agua totalmente consumida ó usada por la planta, generalmente nos referimos a ésta como agua transpirada.

Dada la importancia que reviste la radiación solar en el proceso de transpiración ó consumo de agua de las plantas se procurará cubrir, así sea someramente, ese tópico.

#### RADIACION SOLAR Y TRANSPIRACION

Se requieren alrededor de 585 calorías para convertir 1 cm<sup>3</sup> de agua líquida en vapor a temperatura ambiental y a 1 atmósfera de presión. La caloría (15°C gram-caloría, cal.) es la unidad básica de energía, la cual es la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en 1°C de 14.5°C a 15.5°C.

El sol suministra alrededor de 99.97% de la energía calórica requerida para los procesos físicos que ocurren en el sistema tierra-atmósfera. Cada minuto el sol irradia aproximadamente  $56 \times 10^{26}$  cal. de energía. En términos de energía por unidad de área incidente en

---

\* L. A. M.Sc. Departamento de Ingeniería Facultad de Ciencias Agropecuarias-Palmira. Universidad Nacional.

una capa esférica con un radio de  $1.5 \times 10^{13}$  cm (distancia media entre el sol y la tierra y concéntrica con el sol, esta energía es igual a:

$$S = \frac{56 \times 10^{26} \text{ cal. Min}^{-1}}{4 (1.5 \times 10^{13} \text{ cm.})^2} = 2.0 \text{ cal. cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

donde S es la constante solar.

La constante solar no es una constante verdadera en virtud de que fluctúa  $\pm 1.5\%$  alrededor de su valor medio. Gran parte de la fluctuación parece estar en la porción de radiación ultravioleta del espectro solar.

La radiación solar directa está casi toda dentro de 0.3 - 4.0 micron (m) de longitud de onda y presenta una distribución espectral similar a la de un cuerpo radiante a una temperatura de 6.000°K. (1). Al pasar a través de la atmósfera esta distribución espectral es alterada. La mayor parte del agotamiento de la energía solar (de 2.0 cal./cm<sup>2</sup>. min. arriba de la atmósfera a alrededor de 1.34 cal./cm<sup>2</sup> min. en la superficie) se presenta en la región infrarroja a longitudes de onda mayores de 0.7 (m.) La disminución ocurre como consecuencia de la **reflexión difusa** causada por nubes y **absorción** por vapor de agua atmosférica y dióxido de carbono, y **dispersión** por las constituyentes de la atmósfera principalmente moléculas de aire, polvo y vapor de agua.

En la región visible del espectro, entre 0.40 (m.) y 0.70 (m), hay poca disminución en radiación solar, dando lugar a lo denominado "ventana" que permite pasar inalterada la mayor porción de energía que llega hasta la superficie de la tierra. No obstante lo anterior, 52% de la energía solar que llega a la superficie en un día claro es de la región infrarroja mientras 44% está en la región visible y 4% en la ultravioleta.

La suma de la radiación solar directa y de la radiación resultante de la dispersión y reflexión que llegan a la superficie de la tierra se denomina **radiación global**. Esta radiación global tiene que ser absorbida por un pigmento ó material absorbente para ser convertida a una forma de energía diferente. Si no existe el pigmento de absorción, entonces, la radiación es reflejada hacia la atmósfera y el espacio.

(1) La longitud de onda de la máxima densidad de radiación emitida por un cuerpo depende de la temperatura de dicho cuerpo. Este tipo de dependencia está descrita por la Ley de Win ( $\lambda_{\text{max}} = 2880/T^{\circ}\text{K}$ ) ó sea que a mayor temperatura, menor la longitud de onda de la radiación emitida. La radiación solar es conocida como radiación de longitud de onda corta para diferenciarla de la radiación terrestre cuya longitud de onda es  $\blacktriangleright$  3 u y se le denomina longitud de onda larga, en virtud de las temperaturas de las dos superficies, 6000 °K y 300 °K; respectivamente.

Bajo circunstancias en las cuales exista el material absorbente anó parte de la radiación global es reflejada por la superficie. Esta radiación reflejada depende de la naturaleza de la superficie. El factor de la reflexión ó **albedo** es la relación de la radiación reflejada a la radiación incidente, expresada generalmente en términos de porcentaje.

Los pigmentos vegetales diferentes al agua absorben energía principalmente en dos regiones diferentes del espectro visible. El agua actúa como un material absorbente principalmente en la región infrarroja. Hay también, un ausencia de pigmentos absorbentes entre 0.70 y 1.3 (m.) Este último hecho tiene importancia por cuanto en esta región existe una densidad de energía solar considerablemente abundante.

La radiación solar absorbida que no es convertida en energía fotoquímica aparece como calor sensible ó incrementa la actividad cinética de las moléculas de agua en la interfase líquido-aire dentro de la hoja, la actividad cinética incrementada aumenta la presión de vapor de agua, así, promueve la conversión de calor sensible en latente, lo cual constituye el proceso físico denominado evaporación.

La absorción de energía directamente por el agua en la región infrarroja de espectro aumenta su energía cinética y, eleva la presión de vapor de agua dentro de las hojas.

Se ha observado, también, que en el rango infrarrojo de 0.8 a 1.3 (m.) existe muy poca absorción de energía y aumenta la reflexión y transmisión de energía global. Esta baja absorción en este rango permite que una mayor radiación solar, por transmisión, alcance la superficie del suelo, lográndose con esto que una porción significativa de energía sea aprovechable para calentar el suelo, evaporación o intercambio de radiación térmica en la base de una vegetación densa.

Considerando la porción de la energía absorbida por la superficie del suelo, es necesario dejar establecido que: una parte de ella es reirradiada en longitudes de onda larga característica de la temperatura terrestre (2), y otra parte prosigue al suelo por el proceso de conducción térmica y así causando cambios de temperatura del mismo.

Una vez conocidos los principios generales que determinan la manera como la energía solar se disipa en el sistema atmósfera-tierra,

---

(2) La ley de radiación de Stefan-Boltzman indica que todos los cuerpos emiten energía (s) proporcionalmente a la cuarta potencia de su temperatura absoluta ( $^{\circ}\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C}$ ).  $S = \sigma T^4$ , donde  $\sigma$  es una constante de proporcionalidad y tiene un valor de  $8.26 \times 10^{-11}$  cal.  $\text{cm}^{-2} \text{min}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{K}^{-4}$ .

se puede proceder a presentar lo que se conoce como **balance de energía**. El balance de energía indica la porción de la energía solar utilizada en evapotranspiración.

### BALANCE DE ENERGIA

Para que ocurra el proceso de evaporación se requiere de la participación de dos fenómenos físicos: a) Fuente de energía, para causar la vaporización del líquido; y b) Un gradiente de concentración para que se produzca la difusión de materia.

La primera de estas consideraciones produce las bases del concepto de balance de energía para el estudio de la evaporación. Para usar el balance de energía no es necesario conocer los detalles del proceso sino simplemente poder medir o estimar todos los otros factores que contribuyen al balance térmico en la superficie de evaporación.

Nosotros podemos expresar el balance de energía en la vecindad de la superficie evaporable planteando una ecuación en la que la energía incidente es igual a la energía que sale de la misma. Así, se tiene que:

$$R_s (1 - P) = R_L + G + H + L E \text{ (Cal. cm}^{-2} \text{ - scc}^{-1}\text{)},$$

donde:

$R_s$  = radiación total en longitud de onda corta recibida por la superficie.

$P$  = albedo ó coeficiente de reflexión da la superficie.

$R$  = radiación en longitud de onda larga emitida por la superficie.

$G$  = flujo de calor en el suelo.

$H$  = calor sensible que va a la atmósfera.

$L$  = calor latente de vaporación de agua en cal./gm.

$E$  = rata de vaporación (gm/cm<sup>2</sup>. seg), (se incluye la evaporación desde plantas ó transpiración).

Los términos en el lado derecho de la ecuación son positivos si la energía es removida de la superficie. Se ha despreciado en esta ecuación la cantidad de calor almacenado en la vegetación, lo mismo que la pequeña fracción usada en fotosíntesis (<1% de  $R_s$ ).

La importancia relativa de cada uno de los términos en la ecuación pueden variar sustancialmente. Si la superficie de un suelo es húmeda ó soporta una vegetación transpirando activamente, la mayor parte de la radiación solar disponible es comunmente disipada en la evaporación de agua (LE). Por otra parte, si el suelo está seco, resultará en una mayor pérdida de calor sensible (H). Debido a que la ecuación está basada en el principio fundamental de la conservación de la energía, la ecuación de balance de energía debe siempre ser satisfecha, lo cual significa que el cambio en un término requiere del ajuste de otro u otros términos.

Hemos visto que la cantidad de humedad presente en el suelo controla fuertemente la forma en que es utilizada la energía solar. Es también verdad, que la energía solar disponible afecta fuertemente la humedad presente en el suelo. Lo anteriormente expuesto es también cierto, cuando en vez de la superficie del suelo se tiene una superficie vegetal. Por lo tanto es clara la importante interdependencia existente entre el balance de energía en la superficie del suelo y el balance del agua.

#### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ANGUS, D. E. Agricultural water use, *In*. Russel, M. B. (Ed) Water and its relation to soils and crops. Academic Press N. Y. p. 19-24. 1959.
- GEGER, R. The climate near the ground. Harbar University Press, Cambridge. p. 5-15. 1961.
- LEMON, E. R. Energy conversion and water use efficiency in plants. *In*. Pierre, W. H. et al (Ed.) Plant environment and efficient water use. Am. Soc. of Agron, Madison, p. 28-33, 39-47. 1966.
- RAY, P. M. The living plant. Holt, Rinehart and Winston. New York p. 44-46, 50-51, 53-54. 1963.
- ROSE, C. W. Agricultural physics. Pergamon Press, Oxford. p. 8-25, 39-41, 200-211. 1966.
- SELLERS, W. D. Physical climatology. The Univ. Of Chicago Press p. 11-13, 19-37, 100-122. 1965.