

Consideraciones micrometeorológicas de la pérdida de agua por algunos cultivos^{*1/}

AGUSTIN A MILLAR^{**}, MARIA ROJAS H^{***}, NELSON DUARTE^{****}

ABSTRACT

Mass transfer approach was used to determine the transpiration rate on hourly basis, of irrigated and non-irrigated sugar beet and bean crops. The model, narrowed down to small row crops, uses inputs of plant temperatures, stomatal resistance, leaf area index (LAI) and micrometeorological information. In general, plant temperature and stomatal resistance were lower in the irrigated plots. The abaxial stomatal resistance was lower than the adaxial for both crops and under most conditions. The LAI was higher in the irrigated plots, as expected.

The transpiration rates obtained using the model in two days were 5,1 - 5,5 mm day⁻¹ in the irrigated and 1,54 - 2,6 mm day⁻¹ in the non-irrigated plots of sugar beets. For beans, the transpiration rates were 3,9 mm day⁻¹ under irrigation and 2 mm day⁻¹ for non-irrigated plots.

The transpiration rates of irrigated crops represented 70-79% (sugar beets) and about 50% (beans) of pan evaporation values. In the case of non-irrigated plots, the transpiration rates were 20-37% (sugar beets) and 27% (beans) of pan evaporation values.

Using a model such as the one described in this paper and evapotranspiration measurements by energy balance or lysimeter, the soil evaporation could be obtained.

Introducción

EL conocimiento de la evapotranspiración de los cultivos es un antecedente básico en la determinación de las tasas de riego en cualquier región donde se producen alimentos en condiciones irrigadas. La evapotranspiración es la pérdida de agua al estado de vapor desde la superficie del suelo y de la planta. Siendo la planta la integradora de las condiciones ambientales del sistema suelo-atmósfera, cada día es de mayor necesidad conocer el efecto de los diferentes parámetros del sistema en la producción de los cultivos. Entre otros, implica la necesidad de la separación cuantitativa de los componentes de la evapotranspiración.

En el presente existen metodologías apropiadas que permiten determinar con cierta exactitud la evapotranspiración de los cultivos. Entre estas se pueden mencionar el balance de energía (23, 24), balance de agua y uso de lisímetros (20, 24). Con menos exactitud pueden obtenerse resultados de utilidad práctica a través del uso de formulaciones empíricas (10).

La separación de los componentes de la evapotranspiración es uno de los mayores problemas que enfrenta la micrometeorología. No existe una metodología clásica para enfocar el problema, y tan sólo algunas indicaciones a través de la experimentación de los casos más simples (2, 7). Así Black *et al* (2) lograron montar un modelo que permite la separación de los componentes de la evapotranspiración para un cultivo en hileras y poco denso. El modelo requiere la obtención de la evapotranspiración potencial a través de medidas micrometeorológicas, la estimación de la evaporación del suelo a través de medidas de la radiación neta en la superficie del suelo y contenido de agua de la capa superficial, y el conocimiento de la resistencia estomática ponderada por el índice de área

* Recibido para publicación el 23 de noviembre de 1977.

1/ Contribución del Departamento de Suelos, Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

** Ing. Agr., Ph.D., Ex-Profesor Titular, Departamento de Suelos, Universidad de Concepción, actualmente Especialista en Riego da FAO, Proyecto FAO/PNUDBRA/7-1/008, Petrolina, Pernambuco, Brasil.

*** Ing. Agr., State Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

**** Estudiante de Pedagogía en Matemáticas, Universidad de Chile-Chillán, y Laborante de Física de Suelos, Depto. de Suelos, Universidad de Concepción.

foliar. En forma similar, Goltz *et al.* (7) utilizando un método combinado que requiere la resolución simultánea de un sistema de ecuaciones, teniendo como incógnitas la evaporación del suelo y transpiración, lograron separar dichos componentes en un campo cultivado con cebollas para semillas. En este experimento se obtuvo la evapotranspiración con lisímetros de precisión, constituyendo una ecuación, y la transpiración del cultivo, producto de un re-arreglo del modelo de Monteith (17) para evapotranspiración, constituyendo la segunda ecuación.

Una tercera posibilidad, también a través de un método combinado, requeriría la medida de la evapotranspiración mediante lisímetro o un balance de energía y la obtención de la transpiración del cultivo a través de medidas de la transferencia de masa. La evaporación del suelo se obtendría por diferencia.

En este artículo se presenta en detalle la determinación de la transpiración a través del método de transferencia de masa aplicado a dos cultivos en diferentes condiciones de riego. La transpiración es el componente más importante de la evapotranspiración desde el punto de vista de la producción, ya que es una respuesta de la planta que puede ser fácilmente correlacionada con otros parámetros con la finalidad de obtener un mejor entendimiento de la eficiencia del uso del agua por los diferentes cultivos (14, 18, 25). Por tal motivo, la determinación de la transpiración de los cultivos a través del método de transferencia de masa es una herramienta de utilidad agronómica que va más allá de la mera utilización en la separación de los componentes de evapotranspiración.

Materiales y métodos

Experimento y medidas

Esta experiencia se realizó en la Estación Experimental de la Escuela de Agronomía de la Universidad de Concepción en Chillán, Chile, durante el verano de 1972.

En el suelo de la Asociación Arrayán, se sembraron parcelas de 4 m² con diferentes cultivos a fin de utilizarlas en estudios de evapotranspiración. Algunas características físico-hídricas de este suelo han sido publicadas previamente (1). En el presente estudio se utilizaron parcelas con remolacha (*Beta saccharina*), porotos (*Phaseolus vulgaris*), maravilla (*Helianthus annuus*) y trébol rosado (*Trifolium pratense*) bajo condiciones de riego reciente y sin riego. En estas parcelas, durante varios días se midieron ciclos horarios de resistencias estomáticas, temperatura de las hojas y del aire, luz activa en fotosíntesis, y velocidad del viento a la altura de los cultivos. La resistencia estomática se midió con un porómetro de difusión similar al diseñado por Kanemasu *et al.* (8). La temperatura de las hojas y del aire a la altura del cultivo fueron medidas, simultáneamente con las resistencias estomáticas, con un medidor de contacto que

utiliza un termistor como detector, cuyo diseño es similar al publicado por Linacre y Harris (11). La manera de realizar estas medidas ya han sido ampliamente descritas en otra publicación (15). La luz activa en fotosíntesis se midió con un detector idéntico al diseñado por Norman *et al.* (19).

Con el objeto de conocer el estado de agua de la planta, se realizaron determinaciones horarias del Contenido Relativo de Agua de las hojas (CRA) de los cultivos en estudio. El método empleado en la determinación del CRA fue idéntico al descrito por Millar *et al.* (12). Para cada cultivo se obtuvieron réplicas impresas del haz y envés de la hoja mediante el uso de barniz blanco para uñas (Cutex) con el objeto de determinar la densidad de estomas. El índice del área foliar (IAF) de los cultivos en hilera se obtuvo en las plantas de 1 m de hilera mediante la técnica del trazado, en papel, de la forma geométrica de las hojas, usando una pintura aerosol. El área se obtuvo en réplicas de papel de mayor densidad para el cual se determinó la relación peso/área.

La velocidad del viento a la altura de los cultivos se midió en las parcelas con un anemómetro de 3 semi-esferas. Otras informaciones micrometeorológicas como radiación solar, temperaturas, humedad relativa y evaporación fueron obtenidas cada hora en una Estación Agrometeorológica ubicada a 50 m de las parcelas experimentales.

Modelo micrometeorológico para transpiración de un cultivo.

La pérdida de agua de una planta puede representarse matemáticamente como la sumatoria de las pérdidas individuales desde las hojas:

$$T_{pl} = Th_1 + Th_2 + \dots + Th_n \quad [1]$$

$$T_{pl} = \sum_{i=1}^n Th_i$$

donde T_{pl} es la transpiración total de la planta, y Th es la transpiración de una hoja individual.

Desde el punto de vista físico, la transpiración de una hoja es la pérdida de agua al estado de vapor, y es proporcional a la gradiente de presión de vapor entre la hoja y el aire circundantes, e inversamente proporcional a una resistencia a la transpiración (r_{th}), constituida por la resistencia estomática y la resistencia a la difusión de vapor de la capa de aire circundante estancada. Esto se puede expresar como:

$$Th = CE \rho \frac{C_p (e_h - e_a)}{\gamma r_{th}}$$

donde e_h es la presión de vapor de la cavidad estomática y se supone ser la presión de vapor saturado a la temperatura de la hoja (m_b), e_a es la presión de

vapor del aire fuera de la capa de aire circundante estancada (mb), ρ es la densidad del aire húmedo (g cm^{-3}), C_p es el calor específico del aire húmedo ($\text{cal g}^{-1} \text{K}^{-1}$), γ es la constante psicométrica (mb K^{-1}), r_{th} es la resistencia media al flujo de vapor desde la hoja (seg cm^{-1}) y CE es una constante para convertir Langley seg^{-1} a mm hr^{-1}

La resistencia a la transpiración r_{th} para una hoja delgada puede representarse por la siguiente relación (8):

$$\frac{2}{r_{th}} = \frac{1}{r_{SH} + r_a} + \frac{1}{r_{SE} + r_a} \quad [4]$$

donde r_{SH} y r_{SE} son las resistencias estomáticas del haz y envés de las hojas, y r_a es la resistencia para calor y vapor de agua de la capa de aire circundante estancada. La ecuación [4] considera r_S y r_a actuando como resistencias en serie a cada lado de la hoja, y r_{th} es la resistencia a la transpiración que resulta al considerar $(r_{SH} + r_a)$ y $(r_{SE} + r_a)$ actuando como resistencias en paralelo

Introduciendo la relación [3] en la ecuación [1], obtenemos la transpiración total de la planta en función de gradientes de vapor y resistencia a la difusión de vapor:

$$T_{pl} = CE \frac{\rho}{\gamma} \frac{C_p}{\gamma} \quad [5]$$

$$\left[\frac{e_{h_1} - e_{a_1}}{r_{th_1}} + \frac{e_{h_2} - e_{a_2}}{r_{th_2}} + \dots + \frac{e_{hn} - e_{an}}{r_{thn}} \right]$$

o en forma resumida

$$T_{pl} = CE \frac{\rho}{\gamma} \frac{C_p}{\gamma} \sum_{i=1}^n \frac{e_{hi} - e_{ai}}{r_{thi}} \quad [6]$$

La ecuación [6] es una relación que toma en cuenta todos los factores de planta y demanda del ambiente en el proceso de pérdidas de agua desde una superficie foliar. Esta ecuación es perfectamente válida para cultivos altos como maíz y maravilla donde los perfiles de vapor de agua y temperatura del aire están bien desarrollados. Para cultivos de baja altura como remolacha, porotos, etc, la diferencia con altura de la temperatura del aire y vapor de agua son muy pequeños, de tal manera que una medida adecuada de estos parámetros representaría el ambiente de estos cultivos

Tomando en consideración lo anterior, la transpiración total de la planta para cultivos de baja altura quedaría determinada por una relación similar a la ecuación [3]:

$$T_{pl} = CE \frac{\rho}{\gamma} \frac{C_p}{\gamma} \frac{e_{ch} - e_{ca}}{r_{th}} \quad [7]$$

donde los parámetros de esta ecuación representarían el promedio del microambiente planta-atmósfera considerado.

Cuando se tiene una alta circulación de aire en el ambiente del cultivo, velocidad del viento mayor a 200 cm seg^{-1} , la resistencia a la difusión de vapor de la capa de aire (r_a) en contacto con la superficie foliar es muy pequeña en comparación a la resistencia estomática, y puede descartarse en el análisis. Si se considera lo anterior para cultivos de baja altura y poco densos, la ecuación [4] se reduce a

$$r_{th} = r_S = \frac{r_{Sh} \quad r_{Se}}{r_{SH} + r_{SE}} \quad [8]$$

y la ecuación [7] se reduce a

$$T_{pl} = CE \frac{\rho}{\gamma} \frac{C_p}{\gamma} \frac{e_{ch} - e_{ca}}{r_S} \quad [9]$$

donde r_S es la resistencia estomática total, considerando las resistencias estomáticas del haz (r_{SH}) y del envés (r_{SE}) de la hoja actuando como resistencias en paralelo.

Para la utilización de la ecuación [9] se requiere de medidas de temperatura de las hojas, temperaturas de bulbo seco y húmedo en el aire, y resistencia estomáticas del haz y envés de las hojas.

Para determinar las pérdidas de agua de un cultivo, se necesita, además, tomar en consideración la densidad de plantas y suelo cubierto por el cultivo. Esto se obtiene con la inclusión del índice de área foliar (IAF = superficie foliar/superficie proyectada de la planta sobre el suelo). Extendiendo el uso de ecuación [7] para un número de plantas, la transpiración de un cultivo (T_c) se puede escribir como:

$$T_c = CE \frac{\rho}{\gamma} \frac{C_p}{\gamma} \frac{e_{ch} - e_{ca}}{r_{tc}} \quad [10]$$

donde r_{tc} es la resistencia a transpiración del cultivo que se puede expresar como:

$$r_{tc} = \frac{r_S}{IAF} \quad [11]$$

La relación [10] se utiliza en este artículo para obtener la transpiración horaria de los cultivos de poca altura

Resultados y discusión

Como se puede apreciar, el modelo descrito anteriormente requiere de dos conjuntos de medidas del sistema planta-atmósfera. Las medidas de la planta son temperaturas y resistencias estomáticas al flujo

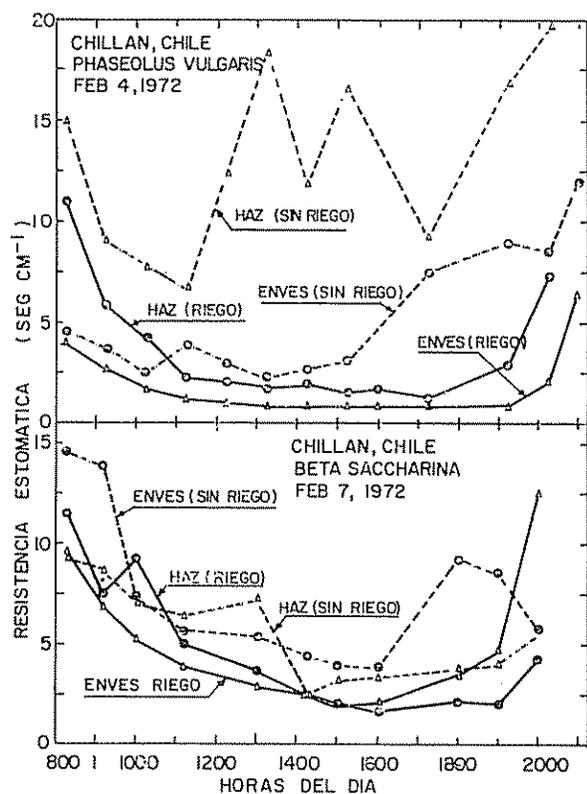


Fig 1—Ciclos diurnos de resistencias estomáticas de remolacha y poroto bajo condiciones de riego y sin riego.

de vapor, mientras que las de la atmósfera se refieren a los parámetros determinantes de la demanda evaporativa del aire circundante

El modelo fue utilizado en dos cultivos, remolacha y porotos. En la Fig 1 se presentan ciclos diurnos típicos de las resistencias estomáticas del haz y envés de hojas de remolacha y poroto, bajo condiciones de riego y sin riego. Las resistencias estomáticas de remolacha disminuyen durante el día, alcanzando un valor mínimo alrededor de las 1500-1600 horas, aumentando posteriormente. Se observa, además, que las resistencias estomáticas de las plantas sin riego son mayores que las regadas, y en ambos casos las resistencias del haz de las hojas son mayores que las resistencias del envés. Situación similar ocurre en porotos. Esta es una característica común en la mayoría de las especies cultivadas (4, 9). De la información anterior se desprende que bajo condiciones similares de humedad en el suelo, el poroto es más sensible al déficit de riego que la remolacha. Kanemasu y Tanner (9) encontraron que los estomas de poroto eran muy sensibles a la intensidad de luz. Brown y Rosenberg (4) encontraron que los cambios en las condiciones microclimáticas, como intensidad de la luz, eran más importantes que la edad de las hojas. A medida que aumenta la intensidad de la luz los valores de resistencia estomática, disminuye debido a una mayor abertura de los estomas. La abertura estomática que con-

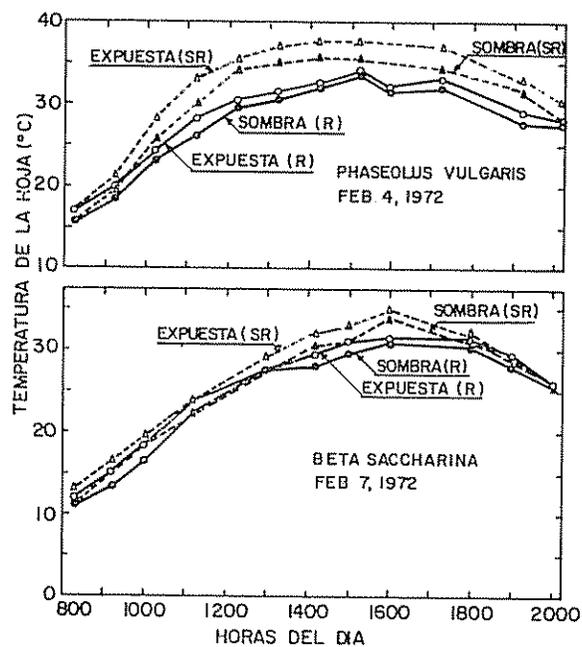


Fig 2—Ciclos diurnos de temperaturas de las hojas de remolacha y poroto bajo condiciones de riego y sin riego.

trola la pérdida de agua en las plantas, también es influida por el potencial de agua de la planta (13), la temperatura de la hoja (15), y la nutrición nitrogenada (22) potásica (21)

En la Fig 2 se presenta un ciclo diurno de temperatura de las hojas de remolacha y poroto. En general, las temperaturas aumentan durante el día hasta un máximo y luego disminuyen, siguiendo un patrón de

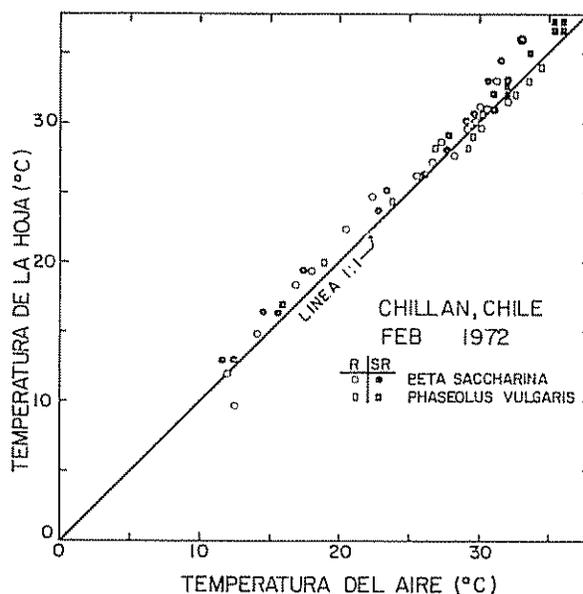


Fig 3—Relación entre temperatura del aire circundante a la planta y la temperatura de las hojas de remolacha y poroto bajo condiciones de riego y sin riego.

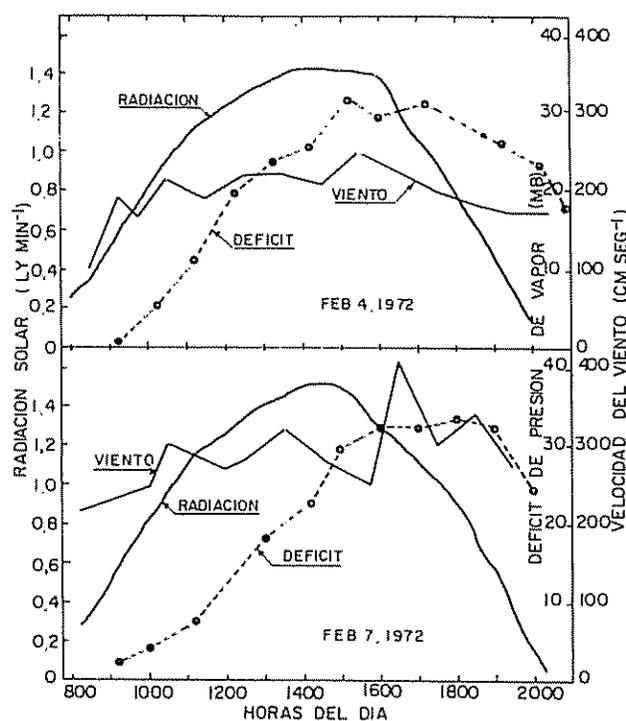


Fig. 4—Variaciones diurnas de radiación solar, déficit de presión de vapor del aire, y viento

respuesta (response function) al impulso de radiación solar (forcing function). Las temperaturas de las hojas expuestas siempre fueron mayores que las temperaturas de las hojas a la sombra. Por otra parte se encontró que la temperatura de las plantas sin riego era mayor que la temperatura de las plantas regadas. Esta respuesta fue notoriamente mayor en el caso del poroto. Este es un índice que de ser propiamente calibrado podría ser utilizado como indicador de la necesidad de riego.

En la Fig. 3 se muestra la relación entre la temperatura de las hojas y el aire para remolacha y poroto bajo condiciones de riego y sin riego. Esta información indica que la temperatura de las hojas de plantas regadas, en su mayoría, fueron ligeramente mayores a la temperatura del aire. En el caso de las plantas sin riego, las temperaturas de las hojas fueron mayores hasta en 3°C. Esta proximidad de la temperatura de las hojas a la temperatura del aire indica la gran eficiencia del sistema de enfriamiento mediante transpiración, especialmente en las plantas regadas. Las implicaciones desde el punto de vista del balance de energía pueden consultarse en otras publicaciones (6, 15, 16).

La Fig. 4 muestra la información de radiación solar, déficit de presión de vapor del aire, y viento en los mismos días de los ciclos de las Figs. 1 y 2. La uniformidad de las curvas de radiación solar indica que se trata de días con cielo despejado. La velocidad del viento fue de 200 cm seg⁻¹ en la mayor

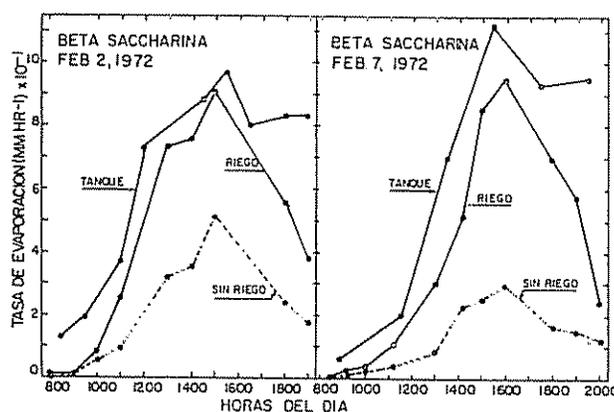


Fig. 5—Variación diurna de la tasa de transpiración de remolacha con riego y sin riego, obtenida con el modelo, comparada a la evaporación de tanque.

parte del día 4 de febrero y aproximadamente 300 cm seg⁻¹ en el día 7 de febrero. Lo anterior indicaría que el modelo debería funcionar razonablemente, ya que se cumpliría una de las suposiciones en la derivación de la ecuación [10]. Hubo días, como el 9 de febrero, en que la velocidad del viento llegó a ser 7,8 m seg⁻¹. El déficit de presión de vapor del aire (DPV) aumentó durante el día hasta un máximo, en respuesta al impulso de radiación solar. Las humedades relativas, que entran en el cálculo del DVP, fluctuaron entre 25-100% durante el día.

Un dato importante en el modelo descrito es el índice de área foliar (IAF). El IAF de remolacha fue 4,0 para las parcelas de riego y 1,94 para las sin riego. En el caso de las parcelas con poroto, el IAF fue 1,6 para las regadas y 0,67 para las sin riego. Utilizando la información anterior y los parámetros horarios indicados en la ecuación [10] se calculó la tasa de transpiración de los cultivos. En la Fig. 5 se muestran los resultados para remolacha en 2 días diferentes. El mismo tipo de información para el caso de porotos, se incluye en la Fig. 6. En todos los casos se incluyó la evaporación horaria del tanque como punto de comparación. Integrando el área bajo las curvas, se obtiene la tasa diurna de transpiración del cultivo, lo que aproximadamente vendría a corresponder a la tasa diaria en mm día⁻¹. Estos datos y otros provenientes de las figuras anteriores, se presentan en la Tabla 1. Se observa que la tasa de transpiración de remolacha regada fue 2,11 3,31 veces mayor que la tasa de transpiración de la remolacha sin riego, y de aproximadamente 1,95 veces en el caso de porotos. Los coeficientes de evaporación del cultivo (Kc) fueron de 0,70-0,79 en remolacha regada y de 0,21-0,37 en remolacha sin riego. En el caso de poroto, el Kc fue de 0,53 para las parcelas regadas y 0,27 para las sin riego. Barrios y Valenzuela (3) obtuvieron valores de Kc igual a 0,90 para remolacha en el mes de febrero, incluyendo también la evaporación del suelo, lo cual no se considera en los valores del Cuadro 1. Basándose en la información de evaporación de tanque y en los datos de Barrios y

Cuadro 1 —Resumen de los parámetros medidos en las plantas de remolacha y poroto. Los datos de temperaturas y resistencias estomáticas son mínimas y máximas observadas durante el ciclo diurno

	IAF	PI (mm d.a ⁻¹)	Evaporación Tanque (mm día ⁻¹)	Kc ^o	t _h (expuesta) (°C)	t _h (sombra) (°C)	R _H ^{oo} (seg cm ⁻¹)	R _E ^{oo} (seg cm ⁻¹)
<i>Remolacha</i> (Feb 2, 1972)								
Riego	4,0	5,5	7,00	0,79	9,6-34,4	8,6-31,5	1,6-15,9	1,4-12,4
Sin riego	1,94	2,6		0,37	13-34,4	12-32,5	1,3-15,1	2,1-9,5
<i>Remolacha</i> (Feb 7, 1972)								
Riego	4,0	5,1	7,3	0,70	12-31,5	11-31	1,7-11,5	1,9-12,6
Sin riego	1,94	1,54		0,21	13,0-34,9	11,5-34	2,5-9,2	3,9-14,5
<i>Poroto</i> (Feb 4, 1972)								
Riego	1,6	3,9	7,4	0,53	16,3-33,75	15,5-33,5	1,3-10,9	0,8-6,5
Sin riego	0,67	2,0		0,27	16,3-37,4	15,5-35,5	6,6-19,8	2,2-12

^oKc = PI/Tanque; ^{oo} Hojas expuestas;

t_h = Temperatura de la hoja

R_H = Resistencia estomática del haz;

R_E = Resistencia estomática del envés

Valenzuela (3) se concluye que los valores de tasa de transpiración, obtenidos por el método de transferencia de masa, están dentro del rango esperado. Al disponerse de determinaciones de evapotranspiración

obtenidas mediante lisímetros o balance de energía, es posible obtener la tasa de evaporación del suelo

La información presentada en este artículo demuestra que la determinación de la tasa de transpiración de los cultivos de baja altura mediante el método de transferencia de masa, es rápida y eficiente cuando se cuenta con las medidas de plantas y microambiente necesarias y se cumple con las condiciones de derivación del modelo. Su aplicación a cultivos de mayor altura, como maíz y maravilla, como también a cultivos con sistema estructural más complejo, necesita de mayores estudios. Entre ellos, debe considerarse la manera de obtener datos promedios de la planta y ambiente que tengan una mayor representación. En esta línea de acción, Brun *et al* (5) estudiaron varios métodos de estimar representativamente la resistencia a la transpiración, que en la práctica constituye el mecanismo regulador de la pérdida de agua por las plantas

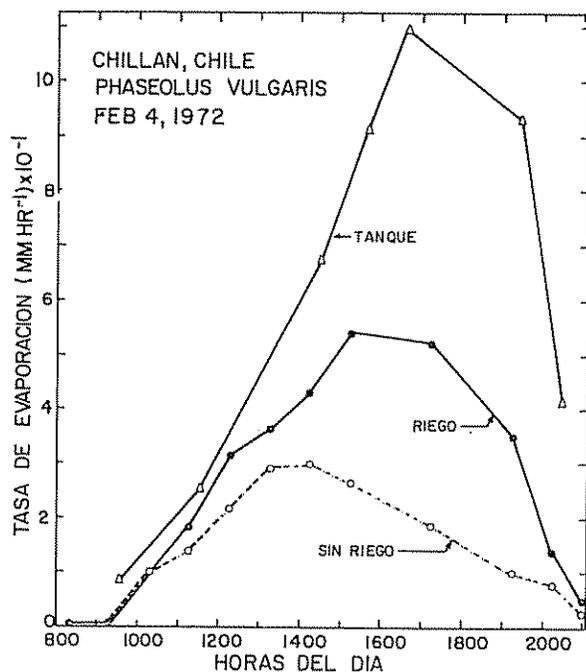


Fig. 6—Variación de la tasa de transpiración de poroto con riego y sin riego, obtenida con el modelo, comparada a la evaporación de tanque.

Literatura citada

1. ARIAS PARRA, ENRIQUE y MILLAR, A. A. Relaciones hídricas de tres suelos regados de la zona central de Chile. Turrialba 23(3): 275-283. 1973
2. BLACK, T. A., TANNER, C. B y GARDNER, W. R. Evapotranspiration from a snap bean crop. Agronomy Journal 62(1): 66-69. 1970
3. BARRIOS, J y VALENZUELA, A. Evapotranspiración en remolacha. Chillán, Chile, Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción. 27 p. (Boletín Técnico Nº 4, Estación Experimental)

4. BROWN, K. W. y ROSENBERG, N. J. Influence of leaf age, illumination, and upper and lower surface differences on stomatal resistance of sugar beet (*Beta vulgaris*) leaves. *Agronomy Journal* 62(1): 20-21. 1970.
5. BRUN, L. J., KANEMASU, E. T. y POWERS, W. L. Estimating transpiration resistance. *Agronomy Journal* 65(2): 326-328. 1973.
6. GATES, D. M. Leaf temperature and energy exchange. *Archiv fuer Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B* 12: 321-326. 1963.
7. GOLIZ, S. M., TANNER, C. B., MILLAR, A. A. y LANG, A. R. G. Water balance of a seed onion field. *Agronomy Journal* 63: 762-765. 1971.
8. KANEMASU, E. T., THUSTELL, G. W. y TANNER, C. B. The design, calibration and field use of a stomatal diffusion porometer. *Plant Physiology* 44: 881-885. 1969.
9. ————— y TANNER, C. B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. II: effect of light. *Plant Physiology* 44: 1542-1546. 1969.
10. LEGARDA, I. y FORSYTHE, W. Estudio comparativo entre la evaporación calculada por varias fórmulas empíricas y la evaporación de tanques, medida en tres lugares tropicales. *Turrialba* 22(3): 282-292. 1972.
11. LINACRE, E. T. y HARRIS, W. J. A thermistor leaf thermometer. *Plant Physiology* 46: 190-193. 1970.
12. MILLAR, A. A., JENSEN, R. E., BAUER, A., y NORUM, E. B. Influence of atmospheric and soil environmental parameters on the diurnal fluctuations of leaf water status of barley. *Agricultural Meteorology* 8: 93-105. 1971.
13. —————, GARDNER, W. R., y GOLIZ, S. M. Internal water status and water transport in seed onion plants. *Agronomy Journal* 63: 779-784. 1971.
14. ————— y GARDNER, W. R. Effect of soil and plant water potentials on the dry matter accumulation of snap beans. *Agronomy Journal* 64: 559-562. 1972.
15. MILLAR, A. A. Thermal regime of grapevines. *Journal of Enology and Viticulture* 23(4): 173-176. 1972.
16. MILLER, P. C. y GATES, D. M. Transpiration resistance of plants. *The American Midland Naturalist* 77(1): 77-85. 1967.
17. MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. p. 305-324. *In* G. E. Fogg (ed.). *The state and movement of water in living organisms*. New York: Academic Press, 1965.
18. MORAGHAN, J. T. Water use by sugar beets in a semiarid environment as influenced by population and nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 64(6): 759-762. 1972.
19. NORMAN, J. M., TANNER, C. B., y THURTELL, G. W. Photosynthetic light sensor for measurements in plant canopies. *Agronomy Journal* 61: 840-843. 1969.
20. PELTON, W. L. The use of lysimetric methods to measure evapotranspiration. *Proceedings Hydrologic Symposium* 2: 106-112. 1969.
21. SAWHNEY, B. I. y ZELITCH, I. Direct determination of potassium ion accumulation in guard cells in relation to stomatal opening in light. *Plant Physiology* 44(9): 1350-1354. 1969.
22. SHIMSHI, D. The effect of nitrogen supply on transpiration and stomatal behavior of beans (*Phaseolus vulgaris*). *New Phytologist* 69: 405-412. 1970.
23. TANNER, C. B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Science Society of America Proceedings* 24: 1-9. 1960.
24. —————. Evaporation of water from plants and soil. pp. 73-106. *In* T. F. Kozlowski (ed.), *Water deficits and plant growth*. Volume 1: Development, control, and measurement. New York: Academic Press, 1968.
25. TEARE, I. D., KANEMASU, E. T., POWERS, W. L., y JACOBS, H. S. Water-use efficiency and its relation to crop canopy area, stomatal regulation, and root distribution. *Agronomy Journal* 65(2): 207-211. 1973.

Notas y Comentarios

Toxinas azucaradas de hongos patógenos

Un grupo de las universidades de Montana, Utah y Colorado ha establecido finalmente la naturaleza de las sustancias tóxicas producidas por el hongo causante de la enfermedad holandesa del olmo. En sus propiedades químicas, estos compuestos tóxicos han resultado ser tan curiosos en su estructura como devastadores son sus efectos.

Los olmos (*Ulmus*) atacados por la enfermedad o declinan gradualmente, produciendo hojas amarillas encarrujadas antes de sucumbir totalmente, o pierden ramas conforme éstas se infectan sucesivamente. La marchitez es el resultado de la reducción del flujo de la savia en el tallo, a su vez resultante de la infección por *Ceratocystis ulmi*; un hongo transmitido de árbol a árbol por una especie de escarabajo de la corteza (*Scolytidae*).

¿Cuál es exactamente el efecto dañino del hongo? Por algún tiempo se ha sospechado que el hongo producía una sustancia tóxica, pero es sólo ahora que esta sustancia (o más bien sustancias) ha sido purificada y enteramente identificada.

Gary Strobel, Neal van Allen, Kenneth D. Hapner, y Peter Albersheim encontraron que su preparación de toxina pura contenía una mezcla de componentes que diferían en el peso molecular, pero que se parecían una a otras en composición y propiedades (*Biochimica et Biophysica Acta*, vol. 538, p. 60). Las toxinas son glicopéptidos, esto es, contienen tanto azúcar como residuos aminoácidos. Pero a diferencia de la mayoría de glicopéptidos que son una cadena polipeptídica con unos pocos residuos azucarados colocados aquí y allá, los glicopéptidos del olmo holandés son cerca de 90 por ciento en peso residuos de azúcar, con manosa y ramnosa como los principales azúcares presentes.

Su composición de aminoácidos es también poco común, ya que una alta proporción del elemento aminoácido está constituido por serina y treonina, las que generalmente conforman menos del 10 por ciento de los aminoácidos en una proteína.

El trabajo estructural que ha hecho el grupo sugiere que las toxinas son proteínas de longitud promedio con un grupo serina o treonina en cada tercer aminoácido, y con una larga cadena azucarada que contiene un promedio de 25 residuos azucarados ligados a cada serina o treonina.

El cómo actúan estas curiosas moléculas falta verlo todavía, pero el grupo de los Estados Unidos ha mostrado que las toxinas purificadas pueden reducir la conducción de agua en cortes de plántulas de olmo, que simulaban la acción de la infección fungosa natural.

Resistencia a virus químicamente inducida

La meta de inducir resistencia a los virus en plantas por el simple expediente de asperjarlas con un compuesto de bajo peso molecular es la excitante perspectiva ofrecida por un trabajo experimental en marcha en Rothamsted. El material usado es una línea especial de tabaco (cultivar 'Xanthi-nc') que da una reacción hipersensitiva a la inoculación por el virus del mosaico del tabaco (TMV). Ray White, del departamento de fitopatología ha estado investigando la resistencia a virus químicamente inducida y piensa que ha encontrado precisamente ese compuesto, por lo menos "el mejor hasta ahora" (*New Scientist* August 3rd, 1978, p. 3-11).

Un reconocido inhibidor químico de los virus vegetales es el ácido poliacrílico, un polímero del ácido acrílico con una molécula muy grande, por lo que sólo puede ser aplicado a las plantas por inyección, lo que es obviamente un método poco apropiado para la protección de cultivos. De ahí la búsqueda de un compuesto asperjable.

La resistencia de las plantas a los virus también puede ser inducida por inoculación con el mismo virus. Pero en ambos casos la resistencia está correlacionada con la presencia de proteínas foliares no identificadas previamente, las que han sido llamadas "proteínas-b". Aunque la inoculación con virus y la existencia de proteínas -b han sido conocidas por algunos años, el trabajo de purificar estas proteínas sólo ha tenido éxito recientemente. En un artículo previo (*Journal of General Virology* vol. 39, p. 3-13), John Antoniuk y Stan Pierpoint del Departamento de Bioquímica de Rothamsted describen un sistema simple para purificar las proteínas-b. Han purificado ahora tres de las cuatro detectadas y prosiguen experimentos para descubrir si estas proteínas determinan en realidad la resistencia de la planta (tabaco) al virus (TMV).

White está también asociado con el enfoque alterno, que consiste en inyectar extractos de proteína purificada en plantas enteras y en protoplastos. En estas pruebas no ha tenido éxito hasta ahora, posiblemente porque las proteínas-b necesitan estar presentes en la célula para que se haga presente la resistencia, o las grandes moléculas proteicas no pueden simplemente entrar en las células. La elucidación del papel de las proteínas-b pueda ayudar a explicar la base bioquímica de la resistencia pero la inducción química de la resistencia parece tener mayor potencial para aplicaciones agrícolas.