

# Relaciones entre uso - consumo y evaporación desde bandeja para un cultivo de maíz<sup>1</sup>

Francisco Córdova Palma<sup>2</sup>

## INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El concepto de "demanda atmosférica por agua" (Slatyer, 1960), domina la mayoría de las relaciones hídricas que se establecen entre el suelo, la planta y la atmósfera.

Sobre este continuo hídrico, que se traduce en un sistema ininterrumpido que termina en una interfase líquido-gas en las hojas, actúan todos los componentes externos pro-

duciendo alteraciones en cada una de las fases, con mayor o menor intensidad.

El tratamiento termodinámico de un sistema como el descrito anteriormente nos permite definir, a partir de la segunda ley, el concepto de potencial parcial (Fowler y Guggenheim, 1965), que no es otra cosa que una medida de la capacidad del agua, en un punto del sistema estudiado, de hacer trabajo comparado con la capacidad de hacer trabajo del agua pura libre y que queda expresado por:

$$\varphi_w = \frac{RT \ln [e/e_0]}{M_w} \quad (1)$$

donde:  $R$  = Constante universal de los gases.

$T$  = Temperatura absoluta.

$[e/e_0]$  = Humedad relativa.

$M_w$  = Fracción molar del agua.

La condición para el equilibrio hídrico entre dos fases del sistema estudiado, por ejemplo, atmósfera (1) y suelo-planta (2), será:

$$\varphi_{w1} = \varphi_{w2} \quad (2)$$

Si existe diferencia de potencial del com-

$$\frac{ra Rn(z)}{\rho C_p} + \frac{L}{C_p} \left( \frac{ra}{ra + rs} \right) qa + Ta = \frac{L}{C_p} \left( \frac{ra}{ra + rs} \right) qs + Ts \quad (3)$$

para las pérdidas de agua desde la hoja, a un nivel "Z", con: características micrometeorológicas = características de la superficie foliar, y donde:

$ra$  = Resistencia atmosférica al flujo.

$rs$  = Resistencia estomática al flujo.

$Rn(z)$  = Radiación neta al nivel "Z".

ponente agua entre las fases consideradas, será ésta la que determinará la dirección y cantidad del agua que difundirá en forma espontánea, tal como un flujo de calor tiene su dirección y cantidad de flujo determinadas por la diferencia de temperatura entre las fases componentes del sistema.

A partir de algunas consideraciones teóricas (Norero, 1970), la "demanda atmosférica por agua" queda especificada por:

$\rho$  = Densidad del aire.

$C_p$  = Calor específico del aire seco a presión constante.

$q_a$  = Humedad relativa del aire al nivel "Z".

$T_a$  = Temperatura del aire al nivel "Z".

$L$  = Calor latente de vaporización.

$q_s$  = Humedad relativa en la cavidad subestomática.

$T_s$  = Temperatura del tejido vegetal al nivel "Z".

<sup>1</sup>Recepción originales: 7 de agosto de 1973.

<sup>2</sup>Ing. Agr. Centro Suelos-Riego, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Casilla 5427, Santiago, Chile.

Las pérdidas de agua desde el suelo están dadas por:

$$E = \frac{\varphi_s - \varphi_a}{I_a + I_s} \quad (4)$$

con:  $\varphi_s$  = Potencial del agua en el suelo.  
 $\varphi_a$  = Potencial del agua en la atmósfera.  
 $I_a$  = "Resistencia" al flujo de agua opuesta por la atmósfera.  
 $I_s$  = "Resistencia" al flujo de agua opuesta por el suelo.

$I_a$  e  $I_s$  no son propiamente resistencias. A diferencia de  $r_a$  y  $r_s$  que tienen las dimensiones de longitud/tiempo, éstas corresponden, dimensionalmente, a (longitud/tiempo)  $\times$  presión.

Análogamente, el flujo de agua desde el suelo a la planta, está dado por:

$$E = \frac{\varphi_s - \varphi_p}{I_s + I_p} \quad (5)$$

Donde el subíndice  $p$  corresponde a la planta.

El flujo de agua desde un punto a otro del sistema estará afectado, entonces, por cualquier factor que incida sobre algún término de las ecuaciones descritas.

De ellas se desprende, y es un hecho por lo demás conocido, que el contenido de agua de la atmósfera está íntimamente relacionado con la temperatura del aire, humedad relativa, horas de sol, etc. Pero éstas dependen, primariamente, de la radiación neta total que alcanzan las capas de aire más cercanas a la tierra. De este modo, la pérdida de agua desde una superficie cultivada deberá estar estrechamente relacionada con la radiación potencialmente susceptible de ser usada en evaporación (Goldberg y Gornat, 1967) (Fritschen y Shaw, 1961a).

Considerando que: a) los evaporímetros constituyen una buena integración de los complejos factores meteorológicos que afectan la evapotranspiración, siendo sus lecturas un buen índice del uso consumo de los cultivos, y b) que dichos factores tienen influencia similar sobre la evaporación desde superficies libres de agua y suelo y sobre la transpiración de una superficie de plantas (Fritschen y Shaw, 1961b), conocida la relación que se establece entre la evapotranspiración desde una superficie cultivada y la evaporación desde una bandeja clase A, se puede estimar los requerimientos de agua por parte de los cultivos.

Los objetivos de este trabajo fueron determinar la correlación existente entre el uso con-

sumo de un cultivo de maíz y la evaporación desde una bandeja clase A y encontrar los coeficientes evapotranspiración/evaporación para el período vegetativo completo.

## MATERIALES Y METODOS

Los datos de uso consumo se obtuvieron de un ensayo que para este efecto conduce el Centro Suelos-Riego en la Estación Experimental La Platina.

Corresponde a parcelas experimentales apretilladas, de tres por cuatro metros, sometidas a tres tratamientos de humedad con tres repeticiones.

Las pérdidas de agua fueron periódicamente cuantificadas con el método gravimétrico, muestreando el suelo en los niveles 0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm de profundidad.

Se consideró sólo el tratamiento que garantizaba que en ningún momento el cultivo estuvo bajo un stress hídrico.

Las determinaciones de capacidad de campo ( $1/3$  atmósfera), punto de marchitez permanente (15 atmósferas) y densidad aparente, en cada nivel, permitieron calcular la capacidad de almacenaje de agua de cada estrata y la restitución de las condiciones de máxima humedad controlando las cargas de agua en cada riego.

Como norma general, los riegos se dieron cuando se hubo agotado el 40% del agua aprovechable.

La información meteorológica se obtuvo de los registros que, tres veces al día, se computan en la Estación Meteorológica de La Platina.

El análisis estadístico correspondió a correlaciones y regresiones lineales simples en las que los datos se refieren a las temporadas agrícolas 1967-1968, 1968-1969 y 1972-1973.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Las Figuras 1, 2 y 3 muestran las variaciones estacionales de uso-consumo y evaporación para los tres períodos considerados. Las ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación respectivos para uso consumo =  $f$  (evaporación) se detallan en el Cuadro 1. Las rectas de regresión correspondientes están señaladas en la Figura 4.

Del Cuadro 1 se desprende que para la relación  $ET = a + bE$  dada por la mayoría de los autores (Goldberg y Gornat, 1967) (Pruitt, 1966) (Rijtema, 1969) se obtienen coeficientes de correlación de, aproximadamente, 0,70. Aunque la mayoría de los valores en la literatura fluctúan alrededor de esta cifra, se encuentran algunos un tanto diferentes. En todo

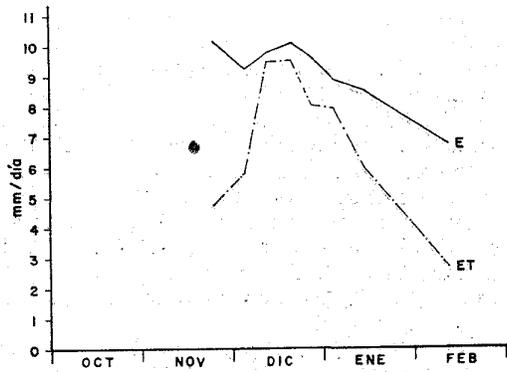


FIGURA N°1.- VARIACION ESTACIONAL DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y EVAPORACION DESDE BANDEJA, EN MAIZ TEMPORADA 1967-1968. LA PLATINA.

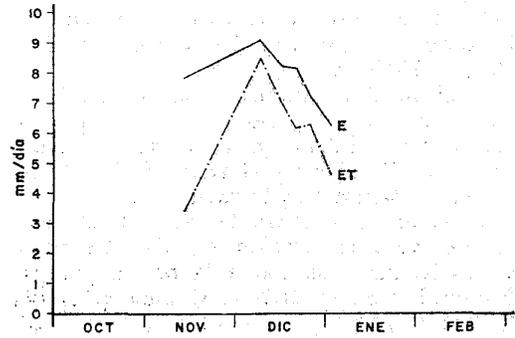


FIGURA N°3.- VARIACION ESTACIONAL DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y EVAPORACION DESDE BANDEJA, EN MAIZ TEMPORADA 1972-1973. LA PLATINA.

Cuadro 1 — Coeficientes de correlación y rectas de regresión para las comparaciones  $ET = f(E)$ . La Platina, Santiago, Chile.

Temporada	r	n	$ET = a + bE$
1967-1968	0,68	8	$\bar{y} = -6.736 + 1.483 \bar{x}$
1968-1969	0,76	9	$\bar{y} = -8.116 + 1.792 \bar{x}$
1972-1973	0,66	6	$\bar{y} = -4.260 + 1.312 \bar{x}$
Todos	0,69	23	$\bar{y} = -4.814 + 1.349 \bar{x}$

caso estas diferencias podrían ser explicadas por:

- a) Las posibles diferencias de construcción entre las bandejas usadas;
- b) El método de riego empleado, el cual influye sobre el uso consumo (Goldberg y Gornat, 1967);
- c) El método empleado para hacer el balance hídrico en el suelo;
- d) Las diferencias en densidad de plantas (Fritschen y Shaw, 1961b);

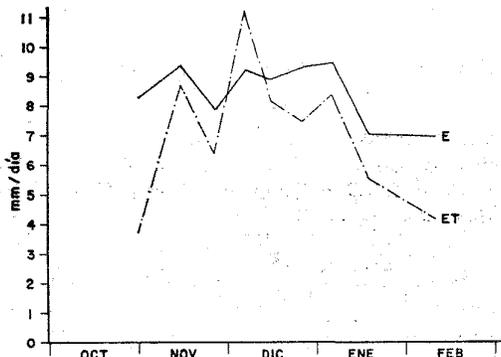


FIGURA N°2.- VARIACION ESTACIONAL DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y EVAPORACION DESDE BANDEJA, EN MAIZ TEMPORADA 1968-1969. LA PLATINA.

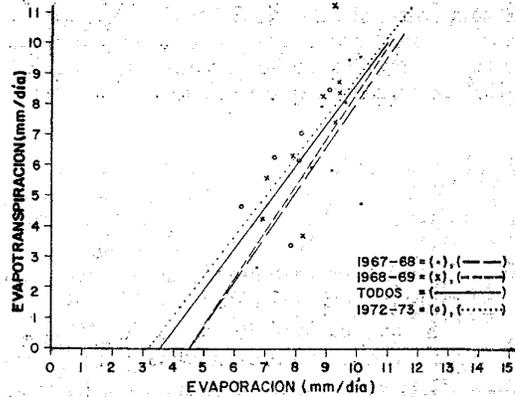


FIGURA N°4.- RECTAS DE REGRESION PARA  $ET = f(E)$ , EN MAIZ. LA PLATINA. SANTIAGO-CHILE

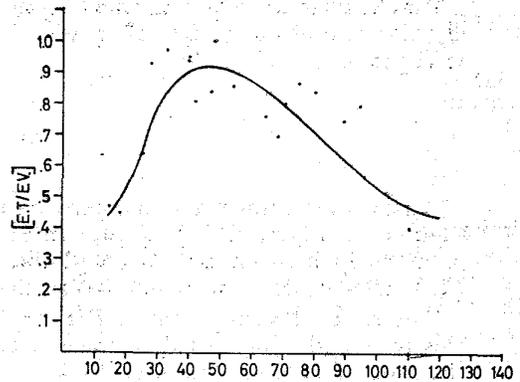


Fig N°5- Variación de la relación Uso-Consumo/Evaporación de bandeja en Maiz. Valores de tres años Est. Exp. La Platina.

e) La posibilidad de una mayor energía de advección en el área del ensayo (Fritschen y Shaw, 1961b), y

f) El nivel de humedad aprovechable al cual se mantuvo el suelo durante la experiencia, dado que influye grandemente en el uso consumo (Goldberg y Gornat, 1967) (Nore-ro, 1970) (Denmead y Shaw, 1962).

La Figura 5 muestra las variaciones estacionales para la relación  $ET/EV$ . La curva es relativamente similar a la presentada por Denmead y Shaw (1959), si bien al estado de "bandera" ("silking stage") se obtuvieron valores más altos:  $ET/EV = 0,91$ .

En este punto la curva alcanza un valor estacionario durante 14-16 días y corresponde al período de máximo índice de área foliar y por lo tanto a la mayor intercepción de energía solar por las plantas (aproximadamente entre 60-75 días después de la siembra). El aumento del valor de  $ET/EV$  en este punto respecto a los obtenidos por Denmead y Shaw (1962) se explica desde el punto de vista del nivel de humedad que se mantuvo en el sue-

lo durante la experiencia. Denmead y Shaw (1959) seleccionaron datos asegurándose que la humedad agotada en el suelo no fuera nunca mayor que el 50% de la humedad aprovechable. En el presente trabajo, en cambio, la humedad aprovechable agotada fue del 40%. Esto condujo a valores más altos de  $ET$  y por ende valores superiores de  $ET/EV$ .

Por otra parte ya se indicó que la forma de adición del agua produce diferencias en la estimación de la  $ET$  lo que implica distintos valores de  $ET/EV$  aún en zonas de igual demanda atmosférica.

Respecto a la forma sigmoidal de la curva, en su primera etapa ésta refleja las variaciones del índice de área foliar del cultivo. Durante esta etapa el cultivo está creciendo rápidamente y cubriendo cada vez más superficie del suelo.

En la tercera etapa se produce un rápido decrecimiento de la relación  $ET/EV$  producto de una disminución en el área foliar activa y sugiere un decaimiento de la actividad fisiológica de las plantas.

## RESUMEN

Durante tres temporadas de crecimiento se realizó un ensayo para determinar la evapotranspiración de un cultivo de maíz en La Platina (Santiago, Chile).

Se correlacionó los datos de  $ET$  con las pérdidas de agua desde una bandeja encontrándose valores medios para el coeficiente de regresión iguales a 0,70.

Las variaciones estacionales del cociente  $ET/EV$  estuvieron muy ligadas al desarrollo del cultivo. Durante 14-16 días (en el estado de "bandera" del cultivo) esta relación se mantuvo en un valor medio de 0,91. Antes de este período el cociente  $ET/EV$  aumentó rápidamente junto con el aumento del índice de área foliar y el aumento en el sombreado del suelo. Después de estos 14-16 días el cociente decreció junto con la disminución de la actividad fisiológica del cultivo.

Para estimar los requerimientos de agua en un cierto período basta con multiplicar el valor apropiado de  $ET/EV$  por el promedio de la evaporación de bandeja durante el período considerado.

## SUMMARY

An experiment was made to determine the evapotranspiration ( $ET$ ) of corn at La Platina (Santiago, Chile) during three growing seasons of this annual row crop. A relationship between  $ET$  data and the water losses from a open pan evaporation ( $EV$ ) was made. It was found that the mean regression coefficients value was 0.70.

The seasonal variations of  $ET/EV$  values indicated that the water use by corn is closely related with corn development. For a period of 14-16 days (at silking stage) the ratio of evapotranspiration to open pan evaporation was 0.91. Before this period the ratio increases with increasing leaf area index and with increasing shading of the ground. Afterwards the ratio declines with declining physiological activity of plants.

To estimate water requirements on a certain period basis, the appropriate ratio is simply multiplied by the mean pan evaporation values for the considered period.

## LITERATURA CITADA

- DENMEAD, O. T. and SHAW, R. H. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agr. J.* 54: 385-390.
- and —————. 1959. Evapotranspiration in relations to the development of the corn crop. *Agr. J.* 51: 725-726.
- FOWLER, R. and GUGGENHEIM, E. 1965. *Statistical thermodynamics*. Great Britain at the University Press. Cambridge.
- FRITSCHEN, L. J. and SHAW, R. H. 1961a. Transpiration and evapotranspiration of corn as related to meteorological factors. *Agr. J.* 53: 71-74.
- and —————. 1961b. Evapotranspiration for corn as related to pan evaporation. *Agr. J.* 53: 149-150.
- GOLDBERG, S. and GORNAT, B. 1967. Research final report: Further studies on the Blaney Criddle formula  $V = KF$  to ascertain the consumptive use of water by plants by means of analysis of climatological data. USDA and Hebrew University Jerusalem. Rehovot. Israel.
- NORERO, A. 1970. Curso de post-graduados en manejo de suelos. Apuntes de clases no publicados. Facultad de Agronomía. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- PRUITT, W. O. 1966. Procedures for estimating crop water requirement for use in water allocations and for improvement of irrigation efficiency and correlation of climatological data with water requirements of crops. Water resources center. Annual Progress report. University of California, Davis, USA.
- RIJTEMA, P. 1969. Evapotranspiration. Eighth international course of land drainage. Institute for land and water Management Research. Wageningen. The Netherlands.
- SLATYER, R. O. 1960. *Plant water relationship*. Academic Press. London. New York.