

EVAPORÍMETROS ANDERSSON UNA OPCIÓN PARA INVERNADEROS

La producción de cultivos bajo plástico constituye un sistema de producción importante en Chile. Cifras preliminares de INE (2007) señalan que se cultivaron en el país 1.578 ha en invernadero. La necesidad de proporcionar a los mercados productos frescos de calidad durante períodos prolongados del año, conjuntamente con hacer un uso óptimo del agua en condiciones climáticas secas y calurosas, llevan a la adopción de esta tecnología.

Dado que en un invernadero las condiciones microclimáticas hacen variar la evapotranspiración (ET), la magnitud de la demanda hídrica vegetal difiere de la generada en el exterior. En estas condiciones, la cubierta plástica de los invernaderos cambia significativamente el balance de radiación interno con respecto a las condiciones ambientales externas, especialmente en lo que se refiere a la absorción y reflexión de la radiación solar incidente. En consecuencia, resulta fundamental estimar correctamente la evapotranspiración de referencia (ET_o) para posteriormente cuantificar la evapotranspiración del cultivo (ET_c), con el propósito final de programar con precisión el sistema riego.

Los dispositivos más frecuentemente usados en Chile para la estimación de la demanda evaporativa en condiciones de campo son la bandeja clase A (BCA) y los atmómetros de Piche (ATP). Paralelamente a estos dispositivos, se han desarrollado ecuaciones empíricas que emplean parámetros climáticos para también estimar ET_o. La ecuación Penman-Monteith (EPM) ha llegado a ser recomendada recientemente por Allen y otros (2006) y López-Urrea y otros (2006), como el

único método para determinar la ET_o, aunque la fórmula FAO-Radiación (EFR) ha sido una alternativa de amplia aceptación (Nandagiri y Kovoov, 2006). En el Cuadro 1 se incluye más detalle de estos métodos y sus referencias más pertinentes.

Al aire libre, la estimación de ET_o se realiza con algunos de los métodos señalados, pero al interior de un invernadero muchas de éstos se ven limitados. Por ejemplo, es difícil utilizar EPM y EFR en estos ambientes, pues utilizan numerosas y complejas variables climáticas. La BCA es un medio simple para obtener ET_o; sin embargo, las limitaciones de espacio dificultan su uso en condiciones de invernadero. Tanto por su tamaño y costo, como por la simpleza de operación, los ATP presentan indudablemente ventajas comparativas, respecto a la bandeja y ecuaciones (Figura 1)

Los dispositivos más frecuentemente usados en Chile para la estimación de la demanda evaporativa presentan limitaciones para ser utilizados al interior de invernaderos. El evaporímetro Andersson, que combina las ventajas de los métodos convencionales: volumen pequeño, bajo costo y práctico, se constituye en una alternativa interesante a los métodos actualmente en uso.

Manuel Casanova, Alberto Cañete, Camilo Sagredo.
Departamento de Ingeniería y Suelos
mcasanov@uchile.cl

Método	Fórmula / Ecuación	Referencia
ATP	$ET_o = \alpha E_{pi} \rho(\sigma)$	Bouchet (1963)
BCA	$ET_o = E_{pan} K_p$	Doorenbos y Pruitt (1976)
EPM	$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900u_2[e_s - e_a]}{T + 273}}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$	Allen et al. (1998)
EFR	$ET_o = b_r \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_s \right) - 0,3$	Doorenbos y Pruitt (1976) Frevort et al. (1983)

Cuadro 1. Dispositivos y ecuaciones comúnmente empleadas en la estimación de evapotranspiración de referencia. BCA: evaporímetro de bandeja clase A; ATP: atmómetro de Piche; EPM: ecuación Penman-Monteith; EFR: ecuación FAO-Radiación.

En consecuencia se precisan alternativas de medición de ET_o, y en este sentido hace unas décadas fue creado un evaporímetro (Andersson,

1969), que no ha recibido la atención debida en el ámbito internacional y cuya existencia en el país se desconoce. Este dispositivo, el evaporímetro Andersson (EAN), se ha usado con éxito en estudios de variabilidad espacial de evaporación en zonas áridas de África (Messing y otros 1998; Messing y Akrimi, 1998).



Figura 2. Evaporímetro Andersson (Andersson, 1969)

El EAN (Figura 2), fabricado en acrílico transparente, consiste en un depósito cilíndrico cerrado pero ventilado, de 0,15 L de capacidad y una altura de agua en su interior entre 25 y 40 mm; el agua evaporada sale a través de orificios circulares situados en la parte superior del depósito; se instalan sobre un pilar y a una altura definida (1,5 m) sobre el nivel del suelo (Figura 3). Cuenta con un total de 96 orificios de 5 mm de diámetro, que asemejan los estomas de las hojas y lo convierten en un modelo rudimentario de estos órganos vegetales. Se carga con agua por la parte superior, en cuyo centro va inserto, con una aguja hacia abajo, un micrómetro. Para realizar las lecturas de agua evaporada (E_a) el micrómetro es atornillado inicialmente hasta que la aguja entra en contacto con el espejo de agua, para posteriormente girarlo y cuantificar la pérdida, con una precisión de 0,01 mm.

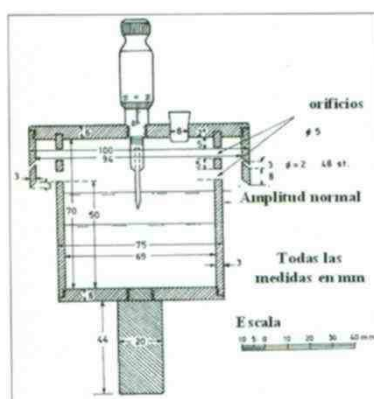


Figura 3

Johansson (1969) informa que en condiciones de temperaturas y humedad relativa altas, la E_{To} se puede estimar (mm día^{-1}) instalándolo a 1,5 m sobre la cubierta vegetal, mediante la ecuación: $E_{To} = E_a \cdot 0,7$.

Al ser un equipo que combina las ventajas de los métodos convencionales, de volumen pequeño, de bajo costo y práctico, se constituye en una alternativa conveniente en estudios de relaciones suelo-agua-planta (Messing, 1998; Arvidsson, 1999), con un potencial interesante en invernaderos para estudios relativos a ET.

El objetivo de esta investigación apuntó a comparar diversos métodos de estimación de la E_{To} bajo un invernadero y particularmente evaluar el uso del evaporímetro Andersson en estas condiciones.

Evaporímetros en práctica

EL ENSAYO SE REALIZÓ EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL ANTUMAPU (FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, UNIVERSIDAD DE CHILE) EN SANTIAGO ($33^{\circ} 40' S$ Y $70^{\circ} 38' O$, 625 MSNM). SE UTILIZÓ UN INVERNADERO TIPO CAPILLA METÁLICO, CUBIERTO DE POLIETILENO ESTABILIZADO, ORIENTACIÓN N-S, 18 M \cdot 11,5 M, 4 M DE ALTURA EN EL VÉRTICE CENTRAL Y 2,1 M LATERALES. EN SU INTERIOR SE UBICARON 8 MESAS DE ESTRUCTURA METÁLICA, 6 DE LAS CUALES SE RECLUBIERON CON POLIETILENO DE 0,2 MM, SOBRE EL CUAL SE DEPOSITÓ UN SUSTRATO (*ENTIC HAPLOXEROLL*: SUELO ORGÁNICO: ARENA; 50: 25: 25, % VOLUMÉTRICO), DEJANDO ORIFICIOS DE DRENAJE. EN ESTAS MESAS SE ESTABLECIÓ UN CULTIVO DE LECHUGA (FIGURA 4).



Figura 1. Evaporímetro de Piche semiprotegido



Figura 4. Interior del invernadero, mostrando las mesas con sustrato y el cultivo (lechuga), al momento del trasplante y luego de varias semanas.

DE ESTA FORMA, PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES REQUERIDAS POR LOS MÉTODOS BASADOS EN ECUACIONES, FAO-PENMAN-MONTEITH (EPM) Y FAO-RADIACIÓN, EFR, (ALLEN *ET AL.*, 1998), SE INSTALÓ UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA (LI-1200), DOS HIGROTÉRMÓGRAFOS Y UN ANEMÓMETRO. ADEMÁS, SE UBICÓ AL INTERIOR DEL INVERNADERO UNA BANDEJA CLASE A, DIEZ EVAPORÍMETROS DE PICHE Y DOS EVAPORÍMETROS ANDERSSON (FIGURA 4).

CONSIDERANDO TODOS LOS MÉTODOS, TANTO EN LOS DISPOSITIVOS (BCA, ATP Y EAN) COMO EN LOS BASADOS EN ECUACIONES (EPM Y EFR), SE ADVIERTE UNA GRAN VARIABILIDAD ENTRE LOS VALORES DE ET_0 ($MM\ DÍA^{-1}$) REGISTRADOS A LO LARGO DEL PERÍODO. ENTRE EVAPORÍMETROS, LOS VALORES MENORES CORRESPONDIERON A LOS REGISTRADOS POR EL MÉTODO EAN, LOS VALORES MÁS ELEVADOS SE OBTUVIERON PRINCIPALMENTE CON LOS ATP. LOS MODELOS BASADOS EN ECUACIONES PRESENTARON UNA TENDENCIA DIARIA SIMILAR ($R=0,97$), AUNQUE CON MAGNITUDES DISTINTAS CASI TODOS LOS DÍAS (FIGURA 5).

LOS DOS EVAPORÍMETROS ANDERSSON EMPLEADOS, Y UBICADOS EN DISTINTAS POSICIONES DENTRO DEL INVERNADERO, MOSTRARON UN COMPORTAMIENTO SIMILAR Y UNA ESTRECHA CORRELACIÓN (FIGURA 5)

EL CUADRO 2 MUESTRA UNA MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS CONSIDERADOS, PERO PARA EFECTOS DE MINIMIZAR LA VARIABILIDAD DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN EL TIEMPO Y FACILITAR LA COMPARACIÓN, LOS VALORES DIARIOS ESTIMADOS Y MEDIDOS SE ANALIZARON PARA PERÍODOS SEMANALES (VALORES ENTRE PARÉNTESIS), APRECIÁNDOSE UNA MEJOR CORRELACIÓN ENTRE ELLOS.

ES POSIBLE CONCLUIR QUE ESTE DISPOSITIVO, EL EVAPORÍMETRO ANDERSSON, CONSTITUYE UNA ALTERNATIVA INTERESANTE A NIVEL DE INVERNADEROS, CON RESULTADOS COMPARABLES A OTROS MÉTODOS QUE PRESENTAN LIMITACIONES EN ESTAS CONDICIONES PROTEGIDAS. SU DISEÑO, ORIENTADO A AUMENTAR LA RESISTENCIA DE FLUJO PARA SIMULAR LAS CONDICIONES AERODINÁMICAS EN LA INTERFASE HOJA-AIRE, ADEMÁS DE SU PEQUEÑO VOLUMEN, PERMITEN REACCIONES RÁPIDAS ANTE CAMBIOS EN LA DEMANDA EVAPORATIVA AMBIENTAL.



Evaporimetro Andersson sobre pedestal, a 1,5 m de altura.

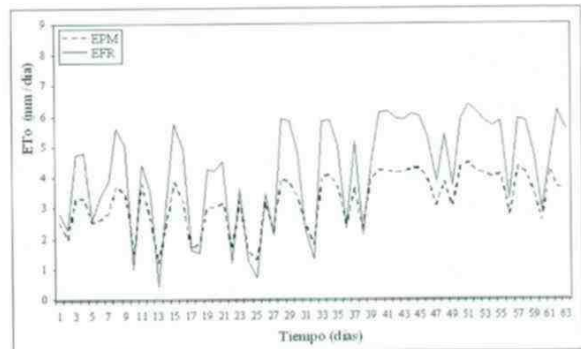
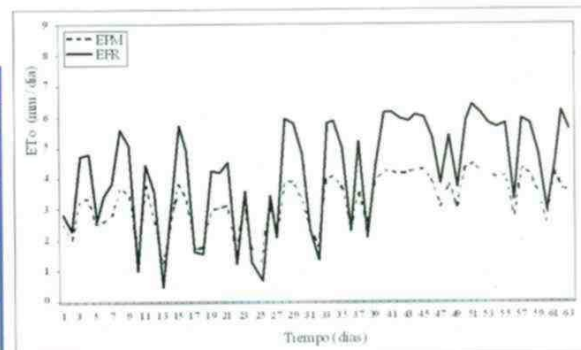


Figura 5. Evapotranspiración de referencia via evaporímetros y ecuaciones.

Método	BCA	ATP	EAN	EPM	EFR
BCA	-				
ATP	0,85 (0,97)	-			
EAN	0,89 (0,99)	0,96 (0,99)	-		
EPM	0,85 (0,99)	0,88 (0,98)	0,91 (0,99)	-	
EFR	0,84 (0,99)	0,89 (0,97)	0,90 (0,99)	0,97 (0,98)	-

Cuadro 2. Matriz de correlación entre distintos métodos de estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_0)



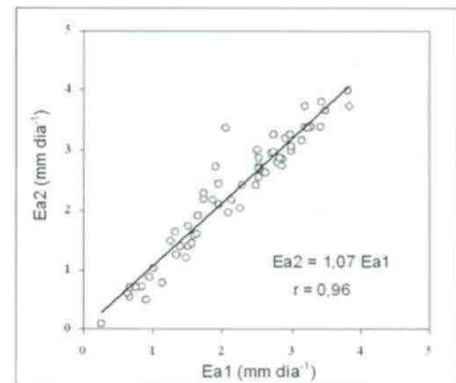
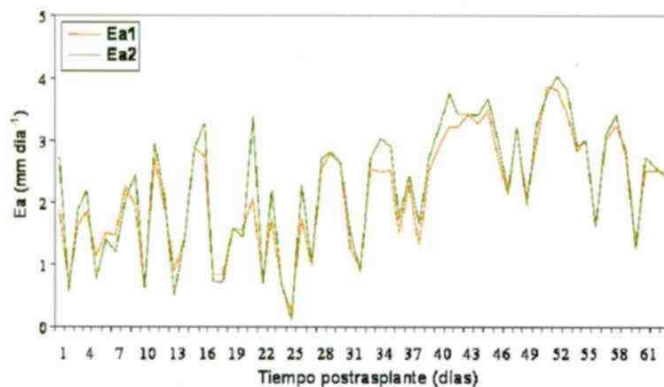


Figura 6. Valores comparados de evaporación de evaporímetros Andersson para dos dispositivos.

Bibliografía citada

ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES, M. SMITH. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Cuadernos de Riego y Drenaje N° 56. FAO, Roma, Italia. 322 p.

ALLEN, R., PEREIRA, L., RAES, D., SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Estudio Riego y Drenaje N° 56. Roma, Italia. 300 p.

ANDERSSON, S. 1969. A new evaporimeter. *Journal Agricultural Land Improvement*, 22: 59-66.

ARVIDSSON, J. 1999. Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. *Plant and Soil*, 208: 9-19.

BOUCHET, R. J. (1963). Evapotranspiration réelle et potentielle. *In: General Assembly of Berkeley*, 19-31 August 1963. Committee on Evaporation, IAHS Publ. N° 62.

DOORENBOS, J., W. PRUIJT. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio Riego y Drenaje N° 24. FAO, Roma, Italia. 194 p.

FREVERT, D., R. HILL, B. BRAATEN. 1983. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage* 109:265-270.

INE. 2007. Resultados Preliminares de VII Censo Agropecuario y Forestal de Chile. Temporada 2006-2007. Cuadro 9. Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Santiago, Chile.

JOHANSSON, W. 1969. The influence of meteorological elements on the evaporation from the Andersson evaporimeter. *Journal of Agricultural Land Improvement*, 22: 83-105.

LOPEZ-URREA, E., F. MARTÍN DE SANTA, C. FABIRO, A. MORATALLA. 2006. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration equations for semiarid conditions. *Agriculture Water Management*, 86:277-282.

MESSING, I. 1998. A simple practical evaporimeter: comparison of Andersson evaporimeter with Class A pan, Piche atmometer, and Penman evaporation. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 12:275-290.

MESSING, I., ÅFÖRS, M., RÅDKVIST, K. and LEWAN, E. 1998. Influence of shelterbelt type on potential evaporation in arid environment. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 12:123-138.

MESSING, I., AKRIMI, N. 1998. Evaporative demand, water use, and crop yield at sheltered and unsheltered sites in an arid environment. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 12:223-235.

NANDAGIRI, L., G. KOVOOR. 2006. Performance evaluation of reference evapotranspiration equations across a range of Indian climates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineer*, 132:238-249.