

EVITA REALIZAR CÁLCULOS COMPLICADOS PARA OBTENER LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE UN CULTIVO

Programación de los riegos mediante el uso de un evaporímetro

Actualmente en el mercado se ofrecen diversos instrumentos que pueden estimar la evapotranspiración (ET) de forma sencilla, sin la necesidad de ecuaciones, ni de equipos que

recojan datos para su posterior procesado. Entre ellos, se encuentra el evaporímetro, cuyo diseño está adaptado para simular la ET de los cultivos de una forma fácil y directa.



Evaporímetro instalado en campo. La estación meteorológica sirvió para estimar la ET_{0ppm} , que posteriormente se relacionó con los valores obtenidos desde el evaporímetro.

F. Castillo-Llanque y P. Gavilán.

IFAPA, Alameda del Obispo. Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales. Córdoba.

Conocer con precisión las necesidades de agua de los cultivos es muy importante para establecer una adecuada programación de los riegos y garantizar la eficiencia del uso del agua. En la práctica, cubrir las necesi-

dades de agua supone reponer las pérdidas de agua por evaporación desde el suelo (E) y las producidas desde las plantas por la transpiración (T); pérdidas que en conjunto se conocen como evapotranspiración (ET). Actualmente las necesidades hídricas de un cultivo se estiman utilizando la **ecuación 1**.

$$\text{Ecuación 1. } ET_c = ET_0 \times K_c$$

ET_c es la evapotranspiración de un cultivo, ET₀ la evapotranspiración de un cultivo de

referencia (normalmente una pradera de gramíneas en crecimiento activo, con una altura de 12 cm y bien abastecida de agua), y K_c es un factor de corrección denominado coeficiente de cultivo. Este coeficiente es diferente para cada cultivo y depende del tamaño, estado fenológico, etc., e incluso varía con el grado de humedad del suelo (**cuadro I**).

La ET₀ se estima por medio de fórmulas empíricas, como la ecuación de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), o bien mediante ecuaciones más precisas como la de Penman-Monteith-FAO56 (Allen y col. 1998), si bien esta última requiere para su aplicación datos meteorológicos que en la actualidad son proporcionados por estaciones meteorológicas. Sin embargo, la instalación y mantenimiento de éstas son complicados y costosos. Además, el radio de influencia de la estación para una variable meteorológica medida puede ser muy limitado en algunos casos como consecuencia de la existencia de microclimas. Por otro lado, la aplicación de datos meteorológicos para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET₀) mediante ecuaciones puede ser una tarea difícil para agricultores e incluso algunos técnicos no familiarizados con el tema.

Actualmente, en el mercado se ofrecen diversos instrumentos que pueden estimar la evapotranspiración (ET) de forma sencilla, sin la necesidad de ecuaciones, ni de equipos que recojan datos para su posterior procesado. Entre ellos se encuentran los tanques evaporimétricos que permiten estimar la ET₀ a partir de la evaporación de una superficie libre de agua. Sin embargo, el uso de éstos tiene

muchas limitaciones, derivadas principalmente de su mantenimiento. Otro instrumento que permite la estimación de la ET_0 es el evaporímetro, cuyo diseño está adaptado para simular la ET de los cultivos de una forma fácil y directa. Además, su bajo coste y sencillo mantenimiento pueden hacer de este aparato una herramienta ideal para el cálculo de la ET y, por tanto para la planificación de los riegos.

Existen diversos modelos de evaporímetros, aunque los últimos trabajos con estos aparatos utilizan el modelo ET_{gauge} , comercializado por la compañía ET_{gauge} (Loveland, Colorado, EE.UU). Los valores de ET_0 obtenidos desde un evaporímetro (llamado en adelante ET_{gauge}) han mostrado una buena correlación con los valores estimados mediante la ecuación de Penman-Monteith FAO-56 (figura 1), como hemos demostrado recientemente investigadores del grupo de riegos del IFAPA de Córdoba (Gavilán y Castillo-Llanque, 2009), confirmando los resultados obtenidos por otros investigadores en Estados Unidos, Inglaterra e Italia.

Descripción y manejo del aparato

El evaporímetro modificado de Bellani (llamado desde ahora solamente evaporímetro) es un instrumento que mide el agua evaporada desde un depósito a la atmósfera, a través de una superficie de cerámica porosa conocida con el nombre de plato de Bellani. Algunos modelos tienen el plato recubierto por una lona verde para una mejor simulación de la evapotranspiración. Éste es el caso del evaporímetro modelo A ET_{gauge} de la empresa ET_{gauge} Company. Este modelo dispone de un depósito de agua de 300 mm, fabricado de PVC blanco para reflejar la radiación solar y evitar la transmisión de la temperatura am-

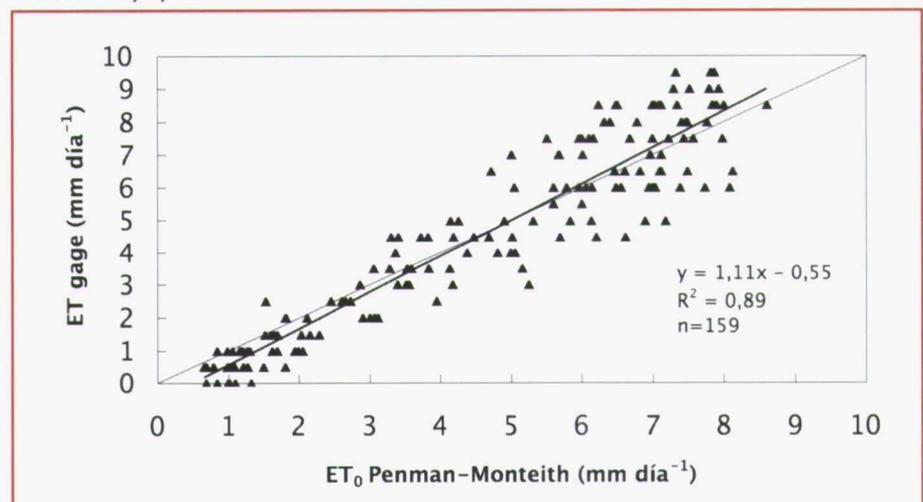
CUADRO I.

Valores de coeficientes de cultivo (K_c) durante las diferentes fases de desarrollo del cultivo para tres cultivos típicos del valle del Guadalquivir.

Cultivos	Fases del cultivo		
	Inicial	Medio	Final
Patata ¹	0,55	1,15	0,50
Cebolla ¹	0,35	1,10	0,80
Algodón ²	0,40	1,15	0,76
Fecha de siembra: ¹ marzo, ² febrero			
Duración total del periodo de cultivo (días): ¹ 145, ² 180, ³ 241.			

FIGURA 1.

Comparación entre los valores diarios de ET_0 estimados mediante la ecuación de Penman-Monteith FAO-56 y la ET_{gauge} obtenida por un evaporímetro en Córdoba entre los meses de mayo y diciembre de 2006.



biental al agua destilada que contiene en su interior (figura 2a). En la parte exterior del depósito dispone de un tubo de cristal con una escala graduada que permite la lectura del nivel de agua del depósito con facilidad. En la parte superior se ubica la cápsula de cerámica porosa que evapora el agua destilada (figura 2b). El plato está cubierto por un tejido

verde que puede cambiarse según el cultivo de referencia, normalmente alfalfa (ET_r) o una gramínea (ET_0). El tejido de cubierta número 30 es el recomendado por el fabricante para calcular la evapotranspiración desde un cultivo de gramíneas (el más usado en España), mientras que el número 54 se utiliza para alfalfa. Este tejido es utilizado para simular el

COSECHADORAS DE OCASIÓN



www.enriquesegura.com

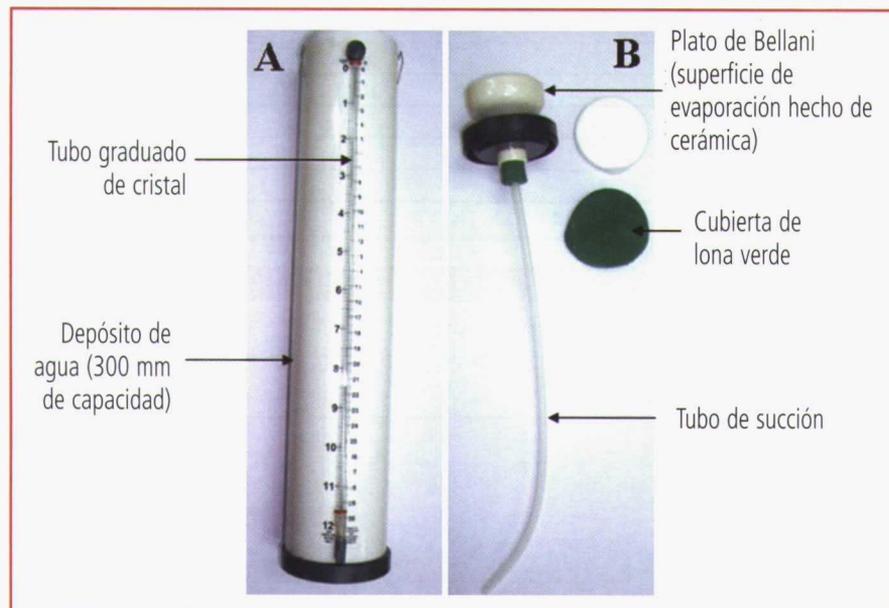
Polígono industrial Sector 4, nº 9
50830 Villanueva de Gállego (Zaragoza). España
Tfno.: 976 18 50 20 • Fax: 976 18 53 74

Móvil: 609 300 299 • E-mail: enrique@enriquesegura.com



FIGURA 2.

Partes del evaporímetro modificado modelo A ET_{gage} (ET_{gage} Company, Loveland, Colorado, EE.UU.).



albedo del cultivo y la resistencia de difusión de las hojas al flujo del vapor de agua desde el interior de las hojas al ambiente (Broner y Law, 1991).

Instalación y uso

El evaporímetro, según las indicaciones del fabricante, debe instalarse sobre un poste vertical de madera pintado de blanco a 1 metro de altura medido desde el suelo. Con objeto de facilitar la lectura de la evapotranspiración desde el evaporímetro (ET_{gage}), la reposición de agua en el depósito, o la limpieza del tejido que recubre el plato, el evaporímetro debe instalarse en una zona de fácil acceso, cuyo ambiente sea similar al cultivo del que se desea conocer la ET. Debe evitarse la instalación en zonas muy próximas a construcciones u objetos voluminosos que obstruyan la circulación del viento y la plena exposición al sol, factores clave en la ET. Esto incluye la instalación en el interior de cultivos muy elevados con un alto grado de cobertura.

El fabricante recomienda que el depósito se llene con agua destilada, a fin de evitar la acumulación de sales en la cerámica, que podrían reducir la porosidad del plato y con esto afectar la evaporación. Las bajas temperaturas invernales pueden congelar el agua almacenada o dañar el

depósito y la cerámica porosa, por lo que es conveniente retirar el aparato durante este periodo. Además, durante el invierno, bajo las condiciones de la mayor parte de España, la evapotranspiración es muy baja, y las lluvias invernales satisfacen la ET de los cultivos, por lo que conocer la ET para el riego en este periodo no tiene importancia.

El evaporímetro dispone de un dispositivo que limita la entrada de agua al depósito desde el exterior. Sin embargo, no resulta aconsejable el riego sobre el mismo, puesto que las sales del agua de riego pueden afectar al plato de cerámica y al tejido que lo cubre. Según nuestras observaciones durante los días muy lluviosos los valores de ET_{gage} fueron bastante inferiores a los de ET_0 Penman-Monteith. Aunque esto no sugiere un ingreso de agua de lluvia al depósito, sí indica tomar dichos valores de ET_{gage} con prudencia.

Es común observar a las aves del campo posarse sobre el evaporímetro a pesar de que éste cuenta con dispositivos para impedirse. Las aves dejan sus deposiciones sobre la cubierta del plato, lo que dificulta la normal evaporación. Por esta razón, y para eliminar diversos cuerpos extraños sobre el evaporímetro, se debe limpiar la cubierta al menos una vez al mes.

Para determinar la cantidad de agua perdida al ambiente desde el evaporímetro (ET_{gage}), se debe realizar una primera lectura

y posteriormente, según el periodo en el que se desea cuantificar la evapotranspiración, una segunda lectura. Así, la diferencia en el nivel del agua entre dos lecturas consecutivas es el agua evaporada por el evaporímetro durante ese periodo de tiempo. Dicho valor representa de manera directa, y sin necesidad de fórmulas ni de correcciones, el valor de la evapotranspiración de referencia. A modo de ejemplo ponemos el siguiente caso.

Un ejemplo de cálculo

Un agricultor desea saber la cantidad de agua que se pierde al ambiente por evapotranspiración durante dos días seguidos. Utilizando un evaporímetro modificado modelo A ET_{gage} , el agricultor observa que el día 1 el nivel del agua está a 10 cm. Al tercer día, a la misma hora en la que realizó la lectura del día 1, observa que el nivel de agua está en 10,6 cm. La conclusión es la siguiente:

- Nivel del agua primer día = 10 cm.
- Nivel del agua tercer día = 10,6 cm.
- Agua perdida al ambiente = $ET_{gage} = 10,6 - 10 = 0,6 \text{ cm} = 6 \text{ mm}$.

Así, se determina que en dos días se han perdido como consecuencia de la evapotranspiración 6 mm, y por tanto la ET ha sido aproximadamente de 3 mm por día, o lo que es lo mismo 3 litros por metro cuadrado y día.

Para una adecuada determinación de los valores de la ET_{gage} diarios las lecturas del nivel de agua en el depósito siempre deben hacerse a la misma hora, normalmente por la mañana entre 8:00 y 8:30 am.

A pesar de todas estas recomendaciones es frecuente observar diferencias entre los valores recogidos por el evaporímetro (ET_{gage}) y los estimados por la ecuación Penman-Monteith FAO56 (ET_{OPM}), ecuación más utilizada para la estimación de la ET_0 . Así, durante los meses de menor demanda evaporativa, los valores diarios de ET_{gage} son menores a los de la ET_{OPM} , mientras que en el periodo de mayor evaporación la ET_{gage} es mayor que la ET_{OPM} (figura 1). La relación entre los valores de ET_{gage} y ET_{OPM} es bastante buena cuando las temperaturas son moderadas. La similitud de la ET_0 entre ambos métodos de medida mejora considerablemente cuando se comparan valores semanales y no diarios. En base a esto, se puede optar por sumar los valores de ET_{gage} diarios de siete días y obtener una media, o simplemente realizar lecturas del nivel de agua en el evaporímetro semanalmente.

Estimación de las necesidades de riego

Como se mencionó anteriormente, las necesidades de agua de un cultivo (ET_c) dependen de la evapotranspiración de referencia (ET_0) y del coeficiente de cultivo (K_c). La disminución del nivel de agua en el evaporímetro durante un período, expresado en días, facilita la estimación de la ET_0 . El K_c de los diferentes cultivos aparece en diferentes publicaciones, entre ellas el manual de Riego y Drenaje n° 56 de la FAO (Allen y col. 1998), disponible en la dirección de internet www.fao.org. Dependiendo de la sensibilidad del cultivo al estrés hídrico, condiciones ambientales, disponibilidad de agua y a la capacidad del sistema de riego, las lecturas del evaporímetro se realizarán diariamente, cada dos o tres días o semanalmente. Además de la ET_c , la estimación de las necesidades de riego requiere conocer la precipitación (P) y la eficiencia del sistema de riego (ER). La eficiencia del riego es variable según el sistema de riego utilizado y el diseño y manejo del mismo. Sus valores típicos se sitúan entre 60 y 95%. Mediante las **ecuaciones 2 y 3**, pueden calcularse las necesidades netas de riego (NRR) y las necesidades brutas (NBR).

Ecuación 2.

Necesidades netas de riego = $ET_c - P$

Ecuación 3.

Necesidades brutas de riego = $\frac{\text{necesidades netas}}{\text{eficiencia de riego}}$

A continuación se exponen varios ejemplos para ayudar a entender los procedimientos hasta ahora descritos con el objeto de estimar las necesidades de agua que debemos aplicar a los cultivos.

Un ejemplo de cálculo en un cultivo de patata

Tras una semana, el nivel del agua en el evaporímetro ha descendido 30 mm. Si el último riego se produjo el día 1 de dicha semana y la eficiencia de riego del sistema es del 90%, ¿cuál será el volumen de agua a aplicar para un cultivo de patatas con un estado inicial de desarrollo?

- $ET_{0\text{gaje}} = 30$ mm (agua demandada por el ambiente desde el evaporímetro).
- K_c inicial = 0,55 (**cuadro 1**).



El evaporímetro debe instalarse sobre un poste vertical de madera pintado de blanco a un metro de altura medido desde el suelo.

Dependiendo de la sensibilidad del cultivo al estrés hídrico, condiciones ambientales, disponibilidad de agua y a la capacidad del sistema de riego, las lecturas del evaporímetro se realizarán diariamente, cada dos o tres días o semanalmente

- Aplicando la **ecuación 1** tenemos: $ET_c = ET_0 \times K_c \rightarrow ET_c = 30 \text{ mm} \times 0,55 = 16,5$ mm.
- Usando la **ecuación 2** y asumiendo una precipitación nula: $NRR = 16,5 \text{ mm} - 0 = 16,5$ mm.
- Finalmente las necesidades brutas serán: $NBR = 16,5/0,9 = 18,3$ mm.

El resultado sugiere que al final de la semana deberá aplicarse 18,5 (tras redondear 18,3) litros por metro cuadrado de suelo cultivado.

Un ejemplo de cálculo en un cultivo de cebolla

Se desea regar un cultivo de cebollas cuyos bulbos están casi desarrollados. A continuación se explica cómo determinar el volumen de agua de riego, y teniendo en cuenta

que desde el último riego hasta pasados 6 días el evaporímetro registró un descenso de agua de 24 mm y que durante la semana se ha registrado una precipitación de 5,4 mm y que además se utiliza un sistema de riego por goteo con una eficiencia del 85%.

- $ET_{0\text{gaje}} = 24$ mm (agua demandada por el ambiente desde el evaporímetro).
- K_c medio = 1,10 (**cuadro 1**).
- Aplicando la ecuación 1 tenemos: $ET_c = ET_0 \times K_c \rightarrow ET_c = 24 \text{ mm} \times 1,10 = 26,4$ mm.
- Usando la **ecuación 2**: $NRR = 26,4 - 5,4 = 21$ mm.
- Finalmente las necesidades brutas serán: $NBR = 21/0,85 = 24,7$ mm.

Pasados seis días el agricultor debe aplicar 25 (tras redondear 24,7) litros por metro cuadrado de cultivo.

Los tres ejemplos aplicados dan cuenta de la facilidad del uso del evaporímetro para la estimación del agua de riego a aplicar. Es bueno mencionar que los ejemplos parten de un suelo en capacidad de campo. Para una mejor programación de riegos será necesario conocer la profundidad de raíces para cada estado de desarrollo del cultivo, el tipo de suelo y su capacidad de almacenamiento de agua, y la reserva de agua que dispone dicho suelo al momento de la programación. ●

BIBLIOGRAFÍA

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper N° 56. FAO, Rome, Italy.

Broner, I., Law, R.A.P. 1991. Evaluation of a modified atmometer for estimating reference ET. Irrigation Science, 12:21-26.

Gavilán, P. y Castillo-Llanque, F. Estimating reference evapotranspiration with atmometers in a semiarid environment. Agricultural Water Management, 2009, vol. 96 (3), 465-472.

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture 1(2), 96-99.