

## Capítulo 6

# Riego y Evapotranspiración

### **Hamil Uribe Cifuentes**

Ingeniero Civil Agrícola  
huribe@inia.cl

### **Rubén Ruiz Muñoz**

Ingeniero Civil Agrícola  
reruiz@inia.cl

## Introducción

Es claro que el agua que pierden los cultivos necesita ser reemplazada, ya sea a través de la lluvia o a través del riego. Pero, calcular la tasa de pérdida de agua no es fácil, porque es un proceso multifactorial, siendo la Evaporación (E) y la Transpiración (T), fundamentales.

La Evaporación (E) es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y la Transpiración (T) consiste en la vaporización del agua contenida en los tejidos vegetales y su paso a la atmósfera. En conjunto la Evaporación y la Transpiración constituyen la Evapotranspiración (ET).

A medida que los cultivos se desarrollan, la relación entre E y T cambia drásticamente, lo mismo que la ET. Mientras que, en etapas tempranas del cultivo, cuando éste todavía es pequeño, la pérdida de agua es dominada por la evaporación, mientras en un cultivo completamente desarrollado, la mayor parte del agua se pierde por transpiración. El clima juega un papel clave en estos procesos, ya que la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa y el viento influyen mucho en la evapotranspiración.

A nivel de la planta estos procesos son muy importantes, puesto que determinan el consumo de agua de las mismas. De aquí nace la necesidad de cuantificar la ET de los cultivos.

El cálculo de las necesidades de riego se basa en estimar la Evapotranspiración Actual del cultivo ( $E_t$ ), sin embargo, dada la dificultad para determinarla en cada cultivo, se prefiere usar el concepto de Evapotranspiración de cultivo de referencia ( $E_{To}$ ). La  $E_{To}$  se puede calcular mediante diversos métodos, lo cuales requieren datos climáticos, de ahí la importancia de contar con redes de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) que permitan el acceso oportuno a la información para el riego.

## Evapotranspiración de cultivo de referencia ( $E_{To}$ )

El punto de partida para programar el riego es conocer la Evapotranspiración de Referencia ( $E_{To}$ ), definida como el consumo de agua de una pradera bien abastecida de agua, de 12 cm de altura (Allen, R. G., *et al.* 2006). También, se le conoce como Evapotranspiración Potencial ( $E_{Tp}$ ) y normalmente se mide en milímetros por día (mm/d), puesto que se trata de una lámina de agua.

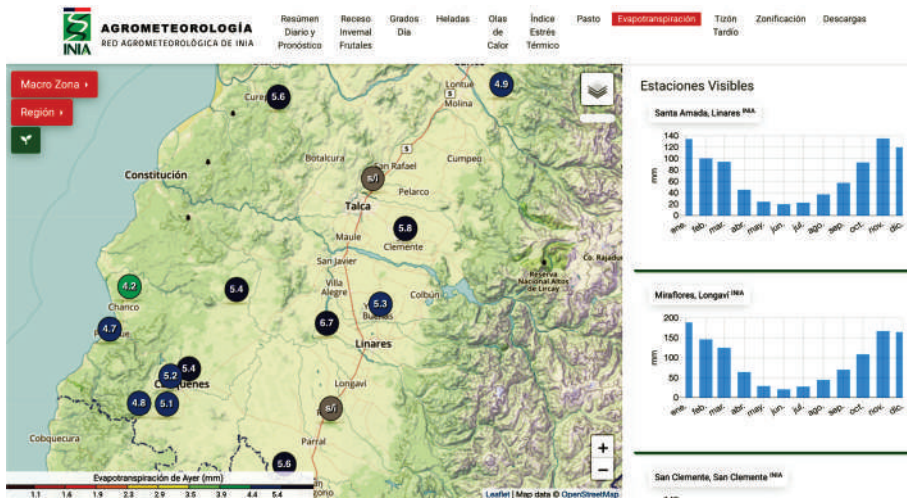
### Existen diversas formas de obtener la $E_{To}$

Hace algunos años se utilizaba una bandeja de evaporación, sin embargo actualmente, dado que se dispone de datos meteorológicos diarios en tiempo real de las EMAs, es estimarla mediante modelos, siendo la ecuación de Penman Monteith la más aceptada. Esta ecuación permite estimar  $E_{To}$  sobre la base de datos diarios de temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento que son los que más influyen sobre el consumo de agua de la plantas (**Figura 1**).



**Figura 1.** Factores que determinan la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{To}$ ).

Actualmente existen redes de estaciones agrometeorológicas automáticas, como la disponible en <http://agrometeorologia.cl>, que miden las variables para estimar ETo y también entregan el valor estimado de la evapotranspiración de referencia por Penman Monteith directamente (**Figura 2**).



**Figura 2.** Plataforma Agromet para obtención de ETo y otras variables climáticas.

Se debe resaltar que, aunque muchas variables agroclimáticas se pueden obtener en forma horaria, la ETo se entrega por día e indica el agua evapotranspirada por una pradera en condiciones estándar.

## Demanda de riego

La importancia de las EMAs es que permiten obtener fácilmente la ETo como primer paso para determinar la demanda hídrica de un cultivo. Es importante seleccionar una EMA que represente correctamente el clima del predio que se desea regar. Una forma simple es buscar la EMA más cercana.

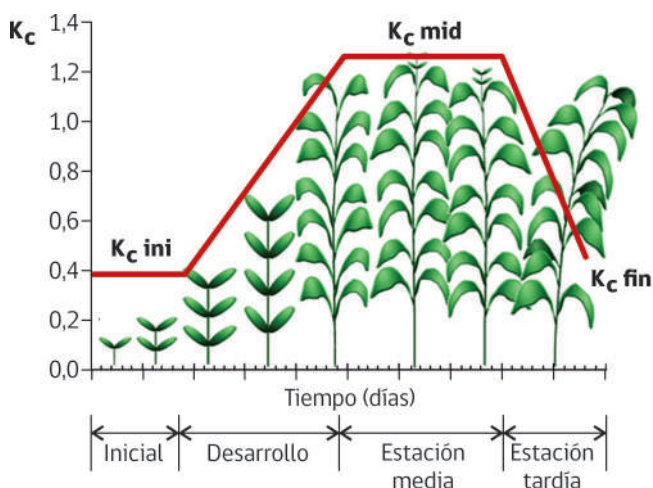
Hasta aquí sólo se ha indicado cómo estimar la demanda hídrica del cultivo estándar de referencia o ETo, pero al agricultor le interesa regar otro cultivo diferente al de referencia. Para alcanzar este objetivo se debe introducir otro concepto, el coeficiente de cultivo.

## Coeficientes de cultivo

En el enfoque de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), el efecto de la transpiración de cultivos y la evaporación del suelo, se combinan en un único coeficiente  $K_c$ , que relaciona la  $ET_a$  del cultivo y la  $ET_o$  de referencia (**Ecuación 1**).

$$ET_a = K_c \times ET_o$$

La curva de coeficiente  $K_c$  se muestra en la **Figura 3**. Poco después de la plantación de cultivos anuales, o poco después de la iniciación de nuevas hojas para cultivos perennes, el valor para  $K_c$  es pequeño ( $K_c$  ini), a menudo menor que 0,4. El  $K_c$  comienza a aumentar a partir del  $K_c$  ini al comienzo del desarrollo rápido de la planta y alcanza un valor máximo ( $K_c$  mid) en el momento del desarrollo máximo de la planta. Durante el periodo tardío, a medida que las hojas comienzan a envejecer, debido a procesos naturales o prácticas de cultivo, el  $K_c$  comienza a disminuir hasta alcanzar el valor más bajo al final del período de crecimiento igual al  $K_c$  final ( $K_c$  fin).



**Figura 3.** Curva de  $K_c$  durante el desarrollo del cultivo.

La duración de los períodos del cultivo y sus correspondientes valores de  $K_c$  se encuentran tabulados, aunque pueden ser adaptados si se cuenta con información local.

# Demanda Neta

La demanda neta (DN) es el volumen de agua que consume la planta y se obtiene a partir de la ETa (**Ecuación 2**).

$$DN = ETa \times A$$

Donde:

**DN** : Demanda Neta (l/m<sup>2</sup>/día)

**ETa** : Evapotranspiración actual (mm/día  $\cong$  l/m<sup>2</sup>/día)

**A** : Área (m<sup>2</sup>)

En caso de cultivos que cubren el suelo completamente la DN queda definida con la ecuación anterior, sin embargo, para cultivos frutales y otros que **cubren sólo parcialmente la superficie del suelo** se aplica un factor de cobertura (FC) que reduce la DN puesto que parte de la superficie no consume agua (**Ecuación 3**).

$$DN = \frac{(ETa \times A \times FC)}{100}$$

Donde:

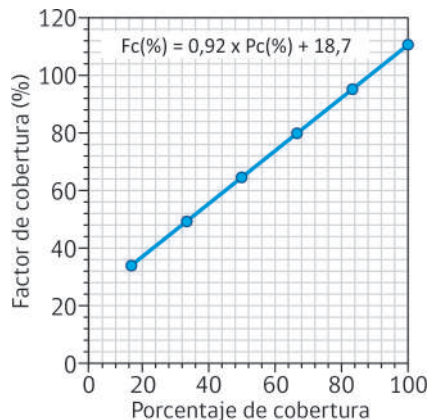
**DN** : Demanda Neta (l/m<sup>2</sup>/día)

**ETa** : Evapotranspiración actual (mm/día  $\cong$  l/m<sup>2</sup>/día)

**A** : Área (m<sup>2</sup>)

**FC** : Porcentaje de cobertura (%)

El FC se estima a partir del porcentaje de cobertura (PC) o porcentaje de área sombreada a las 12:00 de acuerdo al gráfico de la **Figura 4** o de la ecuación ahí descrita.



**Figura 4.** Gráfico y ecuación para estimar Factor de cobertura (FC) a partir de Porcentaje de cobertura (PC).

## Demanda Bruta

Puesto que hemos estimado la DN, es decir, lo que realmente consume el cultivo, debemos ejecutar el riego y aplicar el agua necesaria. Pero, ocurre que no existe un método de riego perfecto, por lo que cualquiera sea la forma de regar habrá una pérdida. Esto significa que existe una eficiencia de los métodos de riego que no es 100%, lo que hace necesario aplicar un exceso de agua, incluyendo la que se perderá. El **Cuadro 1** presenta la eficiencia de riego para los métodos de riego más comunes.

**Cuadro 1.** Eficiencia de aplicación por método de riego.

Método de riego	% Eficiencia de aplicación
Tendido	30
Surco	45
Borde recto	50
Borde en contorno	60
Pretiles	60
Taza	65
Californiano	65
Aspersión	75
Micro jet	85
Goteo (cinta)	90

La Demanda Bruta (DB) corresponde al volumen de agua que debemos regar, que debe ser mayor que la DN de acuerdo la siguiente fórmula (**Ecuación 4**):

$$DB = \frac{DN}{Er}$$

Donde:

**DB** : Demanda bruta (l/m<sup>2</sup>/día)

**DN** : Demanda Neta (l/m<sup>2</sup>/día)

**Er** : Eficiencia de Riego (fracción decimal)

Ejemplo:

**ET<sub>o</sub>** : Evapotranspiración de cultivo de referencia (de agromet) = 6,9 mm/día

**K<sub>c</sub>** : Coeficiente de cultivo, mes de enero = 0,9

**A** : Marco de plantación 3x3 m<sup>2</sup> = 9 m<sup>2</sup>

**PC** : Porcentaje de cobertura = 78%

**Er** : Eficiencia de riego por goteo (de Tabla 10.1) = 0,9

**FC** : Factor de cobertura (de Figura 10.4) = 90%

$$ETa = Kc \times ETo$$
$$ETa = 0,9 \times 6,9 = 6,2 \text{ mm/día}$$

$$DN = \frac{(ETa \times A \times FC)}{100}$$

$$DN = \frac{(6,2 \times 9 \times 90)}{100} = 50,22 \text{ l/(planta x día)}$$

Notar que el valor obtenido es por planta puesto que tomamos el área de una planta y es por día debido a que el ET es para 1 día.

$$DB = \frac{DN}{Er}$$

$$DB = \frac{50,22}{0,9} = 55,8 \text{ l/(planta x día)}$$