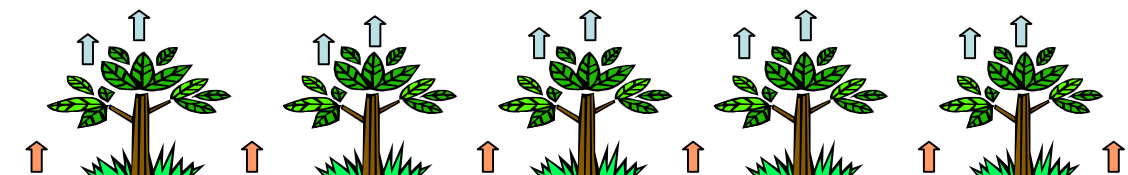


## 4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

### 4.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVOS

**Nota preliminar.** Para la determinación de la evapotranspiración de los cultivos los métodos elegidos por REDAREX se fundamentan en los detallados en el manual 56 de FAO. No es el cometido de estas notas describir todo el proceso sino más bien perfilar las ideas generales. El usuario que desee profundizar puede hacerlo en el siguiente enlace: (<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>).

La **evapotranspiración** es el fenómeno conjunto de evaporación y transpiración desde el suelo y vegetación, respectivamente. La causa de utilizar un único concepto para un proceso dual se debe a la complejidad de separar ambos cuando el cultivo está desarrollado.



A su vez, la fluctuación en la evapotranspiración diaria de un cultivo obedece a diversos factores, complejos de abordar de forma conjunta, y que podemos clasificar en dos grupos: meteorológicos y de desarrollo del cultivo.

La relación de estos factores se resume en la expresión siguiente:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

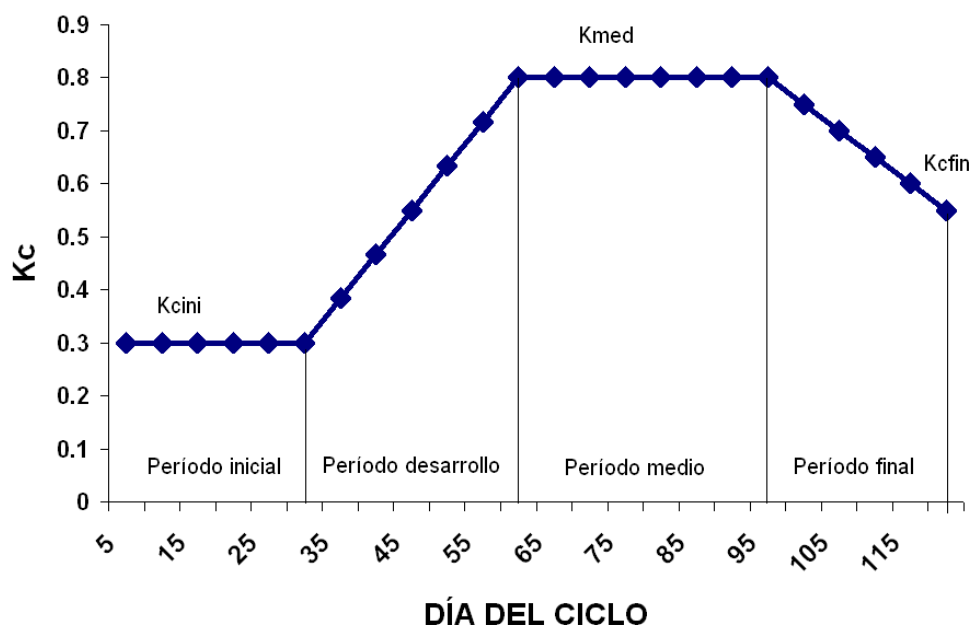
Donde  $ET_c$ , la evapotranspiración del cultivo, se obtiene a partir de la evapotranspiración de un cultivo patrón o de referencia,  $ET_o$ , (dependiente sólo de la meteorología) y de un coeficiente que denominaremos  $K_c$  (dependiente del desarrollo del cultivo)

El cultivo de referencia elegido es una pradera en crecimiento activo, mantenida mediante siega a una altura de 10-12 centímetros, bien regada, fertilizada y sana. Para estas condiciones, la  $ET_o$  se puede determinar a partir de los datos de temperatura, humedad, radiación y velocidad de viento mediante la ecuación de Penman-Monteith:

$$\lambda ET_o = \frac{\Delta (R_n - G) + \rho c_p (e_a - e_d) / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)}$$

El valor de evapotranspiración de referencia en mm ( $l/m^2$ ) se facilita diariamente para cada emplazamiento donde existe una estación agrometeorológica.

En cuanto al coeficiente de cultivo, es preciso aclarar que son específicos para cada cultivo y no son uno sino varios, teniendo en cuenta que dependen del desarrollo de éste, aunque de forma simplificada se puede decir que todos siguen el patrón detallado en la siguiente figura.



Los estudios realizados durante años comparando mediante lisimetría la evapotranspiración de diversos cultivos y del cultivo de referencia, permitieron asignar unos coeficientes tipo a cada cultivo para el período inicial, período medio y momento final ( $K_{cini}$ ,  $K_{cmed}$  y  $K_{cfin}$ , respectivamente).

En REDAREX hemos seguido este procedimiento general y se han asignado unos valores de  $K_c$  para cada cultivo y una duración en días para cada una de las etapas, en función de bibliografía contrastada para la región. No obstante, el usuario encontrará que estos valores en el módulo de programación de riego son editables, con el objetivo de adaptar la aplicación a las condiciones que el usuario considere más oportunas.

Manteniendo este patrón principal de variación de  $k_c$ , la metodología de cálculo elegida en REDAREX para los coeficientes de cultivo difiere en función de que el riego sea localizado o por gravedad o aspersión.

En el primer caso el cálculo se realiza dissociando la componente de  $K_c$  relativa a la evaporación desde el suelo de la componente transpirativa del cultivo. El método está notado en FAO56 como bifactorial. Resumidamente,  $K_c$  se calcula a partir de

$$K_c = K_{cb} * k_a + K_s, \text{ siendo}$$

Kcb: Coeficiente de cultivo basal relativo a la transpiración del cultivo (tabulado)  
 Ka. Coeficiente de estrés. Se considerará siempre 1, suponiendo que no pondremos al cultivo en condiciones de estrés.  
 Ks: Componente evaporativa desde el suelo

En el caso de riego por gravedad o aspersión el método elegido es el unifactorial descrito también por FAO56.

Por su complejidad merecería un capítulo aparte el cálculo del coeficiente de cultivo inicial. Sin embargo no es este el espacio en que deba detallarse y baste subrayar que en esta etapa el coeficiente de cultivo procede mayoritariamente de la evaporación directa desde el suelo y que el método propuesto por FAO 56 modeliza esta evaporación a partir de los datos de tipo de suelo, evapotranspiración de referencia, cantidad de agua aportada al cultivo por riego o precipitación y frecuencia de riegos.

## 4.2. NECESIDADES DE RIEGO

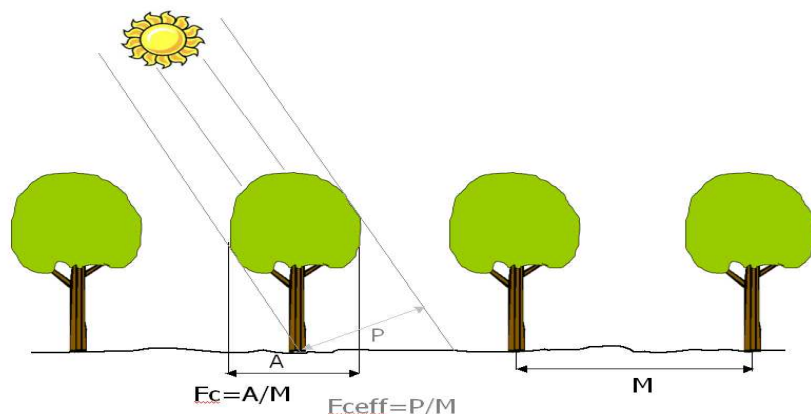
### 4.2.1. Evapotranspiración del cultivo y necesidades netas (NN, mm)

En el módulo de programación de riego, el cálculo de evapotranspiración del cultivo se completa con nuevos parámetros hasta llegar a la expresión siguiente:

$$ET_c = ET_0 * K_c * k_r$$

Siendo

**Kr**: coeficiente reductor aplicado en cultivos leñosos cuando la cobertura vegetativa no es total. Se determina como promedio de los resultados de las funciones propuestas por Aljibury, Decroix, Hoare, Séller y FAO56. Es función de la fracción de cobertura efectiva del cultivo sobre el terreno, latitud, altura del sol sobre el horizonte y orientación del cultivo respecto al norte.



**Crdc**: En cultivos leñosos, existen estrategias de riego basadas en reducir la aportación de agua al cultivo para ahorrar agua y limitar el crecimiento de las

ramas y brotes, facilitando la poda posterior. La estrategia se denomina riego deficitario controlado y se realiza aplicando un coeficiente de reducción al riego, que aquí denominamos Crdc (Coeficiente de riego deficitario controlado). El campo deberá ser editable pero con un valor por defecto de 100

Obtenida la evapotranspiración del cultivo, las necesidades de agua del cultivo no cubiertas, Necesidades netas, se calculan como diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva,

$$NN = ET_0 * K_c * k_r * (Crdc/100) - P_{eff}$$

La precipitación (P) y su derivada, precipitación efectiva ( $P_{eff}$ ), son valores suministrados por RIA para cada día y estación (tablas de **datos diarios** y **cálculos diarios**). Debido a que la precipitación es muy variable espacialmente, el campo de precipitación mostrará por defecto el valor obtenido en la estación, pero será editable.

Si el usuario introduce su valor, será preciso recalcular el la precipitación efectiva, que se realizará a partir de la función siguiente

$$P_{eff} = 25.4 SF (0.04931 P^{0.82416} - 0.11565) * 10^{0.000955 ET_0}$$

siendo P la precipitación total

ETc: la evapotranspiración de referencia

SF se calcula a partir de la función:

$$SF = (0.531747 + 0.011621D - 8.943 * 10^{-5} D^2 + 2.321 * 10^{-7} D^3)$$

Siendo D el agua útil del suelo (mm), que fijaremos en 100, por lo que podemos asumir un valor fijo de SF=1.03.

#### 4.2.2. Eficiencia y necesidades brutas (NB, mm)

Las necesidades de riego en mm para cada día son el cociente entre necesidades netas y eficiencia del sistema de riego.

$$NB = NN / E_a$$

Siendo  $E_a$  la eficiencia estimada para cada sistema de riego. Se facilita por defecto en el módulo de programación aunque es editable.

Sistema	Ea
Inundación	0.6
Aspersión	0.8
Surcos cama	0.7
Surcos cama ancha	0.7
Surcos alternos	0.7
Goteo	0.9

#### 4.2.3 Déficit y tiempo de riego

Debido a que el agua que aporta el agricultor a los cultivos puede considerarse como aportación bruta, se ha introducido el parámetro déficit de riego ( $D_r$ ), que se obtiene del balance entre el agua aplicada en el riego y las necesidades brutas. Se calculará de forma acumulada y será nulo en el inicio del ciclo aunque será editable para que el usuario introduzca el valor deseado. Las unidades son  $l/m^2$ .

En riego por gravedad y aspersión, cuando el déficit de riego alcance el valor de  $DASP/Ea$  (Déficit de agotamiento permisible en el suelo/Eficiencia del sistema de riego) elegido por el usuario, se deberá aplicar un riego.

$$DASP = (CC - PMP) * NASP * z_r$$

Siendo  $DASP$  (mm) el déficit de agotamiento en el suelo permisible (es igual a la dosis de riego neta),  $CC$  (adimensional, tanto por 1) la capacidad de campo del suelo,  $PMP$  (adimensional, tanto por 1) el punto de marchitez permanente,  $NASP$  (adimensional, tanto por 1) el nivel de agotamiento permisible en el suelo y  $z_r$  la profundidad radicular (m). Excepto el valor de profundidad radicular, elegido por el usuario, el resto se tomarán de la tabla tipo de suelo.

La aplicación aconseja regar mediante la aparición del texto "REGAR" en el caso de riego por gravedad.

En el caso de riego por aspersión la aplicación mostrará las horas necesarias de riego en HHMM (con redondeo de 10 minutos). Para que ello sea posible, previamente el usuario habrá introducido la información relativa al marco de distribución de los aspersores y su caudal unitario.

Cuando el sistema de riego elegido sea localizado la aplicación mostrará el tiempo de riego en horas en notación HHMM (con redondeo de 10 minutos). Previamente el usuario habrá indicado la distribución de emisores y su caudal unitario en  $l/h$ .

### 4.3. HORAS FRÍO

Las horas frío transcurridas entre el 15 de octubre y 15 de marzo se calcularán a partir del método de Richardson, consistente la variabilidad de cómputo en función de la temperatura ocurrida.

Las horas frío se calcularán a partir de los datos semihorarios y el método elegido es el de Richardson.

Temperatura horaria	Cómputo horas frío
$T \leq 1.4$	0
$1.4 < t < 2.4$	0.25
$2.4 < t < 9.1$	0.5
$9.1 < t < 12.4$	0.25
$12.4 < t < 15.9$	0
$15.9 < t < 18$	-0.25
$t > 18$	-0.5

### 4.4. INTEGRAL TÉRMICA

La velocidad en que se producen los fenómenos fisiológicos guarda una relación directa con la temperatura. Se podría decir que a mayor temperatura, los procesos son más rápidos, aunque existe tanto un umbral inferior como uno superior a partir de los cuales los procesos se interrumpen o se ralentizan. La regla general es también válida si ampliamos el enfoque en el tiempo al desarrollo de un ser vivo, a su ciclo vital.

Existen diversos métodos que permiten la predicción del momento de maduración de un cultivo o la duración del ciclo de una cohorte de una plaga basados en la integración de la temperatura del aire a lo largo del tiempo (IT)

Al ser la integral térmica un cálculo orientado a múltiples usos, en REDAREX se ha elegido un método sencillo y abierto, en el que sea el usuario el que escoja las temperaturas umbral y el período de cálculo.

El procedimiento elegido es el que sigue:

$$IT = \sum(t_m - t_i)$$

siendo  $t_m$  la temperatura media diaria y  $t_i$ , la temperatura umbral inferior, ambas en °C. Existe además una temperatura umbral superior ( $t_s$ ).

Si  $t_m > t_s$ ,  $t_s = t_m$

Si  $t_m < t_i$ ,  $t_i = t_m$